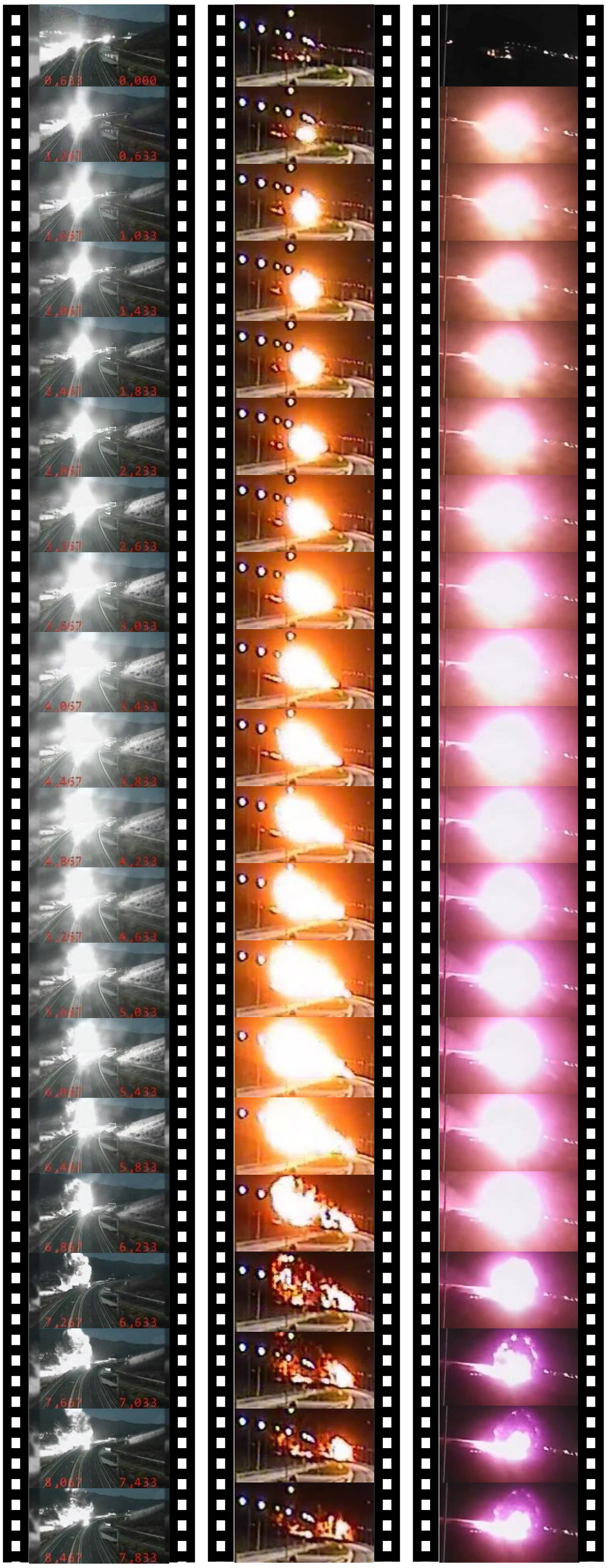
ΠΟΡΙΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΑΙΤΙΩΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΥΡΟΣΦΑΙΡΑΣ (FIREBALL) ΚΑΙ ΕΝΑΡΞΗΣ ΦΩΤΙΑΣ ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΔΥΣΤΥΧΗΜΑ ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ, 28/2/2023



Αχιλλέας Μιχόπουλος
Χημικός Μηχανικός MSc, ΑΠΘ/UMASS
Τεχνικός Σύμβουλος Συγγενών Θυμάτων

28/2/2025

Χημικοί Μηχανικοί που προσυπογράφουν το πόρισμα:

- **Νικόλαος Κάρναβος, Χημικός Μηχανικός ΑΠΘ,**

  Πρώην Τμηματάρχης Διαχείρισης Περιβάλλοντος Ομίλου ΕΛΠΕ, Πρώην Τμηματάρχης Ποιοτικού Ελέγχου, Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Θεσσαλονίκης ΕΚΟ/ΕΛΠΕ, Σύμβουλος Περιβαλλοντικών θεμάτων, Υγιεινής , Ασφάλειας & Ποιότητας

  Τεχνικός Σύμβουλος Θυμάτων Τεμπών

- **Νικήτας Νικόπουλος, Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ,**

  Πρώην Διευθυντής Παραγωγής Χημικών, Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Θεσσαλονίκης ΕΣΣΟ ΠΑΠΠΑΣ/ΕΚΟ.

- **Δημήτρης Μαντές, Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ,**

  Πρώην Πρόεδρος Συλλόγου Χημικών Μηχανικών, Πρώην Διευθυντικό Στέλεχος ΕΚΟ/ΕΛΠΕ

- **Μίρκα Ράδου, Χημικός Μηχανικός,**

  Πρώην Υπεύθυνη Τομέα Περιβάλλοντος, του Οργανισμού Ρυθμιστικού Θεσσαλονίκης

Στη μνήμη των Θυμάτων

Με την ελπίδα ότι θα υπάρξει δικαίωση

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΠΟΡΙΣΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΑΙΤΙΩΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΥΡΟΣΦΑΙΡΑΣ (FIREBALL) ΚΑΙ ΕΝΑΡΞΗΣ ΦΩΤΙΑΣ ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΔΥΣΤΥΧΗΜΑ ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ, 28/2/2023

Περιεχόμενα

Αχ. Μιχόπουλος ©

1. Περίληψη

Στο δυστύχημα των Τεμπών της 28/2/2023, μεγάλος αριθμός των θυμάτων (27 από σύνολο 57, σύμφωνα με τα ιατροδικαστικά δεδομένα) βρέθηκαν απανθρακωμένα λόγω της πυρκαγιάς που ακολούθησε την πυρόσφαιρα που εμφανίστηκε αμέσως μετά τη σύγκρουση.

<u>Α. Τα έλαια σιλικόνης</u>

- Η θερμοκρασία ανάφλεξης των ελαίων είναι >300 °C. Η θερμοκρασία τους τη στιγμή του συμβάντος ήταν 80-90 °C. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 8-10 °C. Στις συνθήκες αυτές τα έλαια δεν αναφλέγονται καν.
- Ο έλεγχος που έγινε από το Γ.Χ.Κ. δειγμάτων των ελαίων απέκλεισε το ενδεχόμενο παρουσίας στα έλαια πτητικών και εύφλεκτων προϊόντων αποσύνθεσης τους. Η θερμοκρασία ανάφλεξης των δειγμάτων (πειράματα στο Γ.Χ.Κ.) επιβεβαίωσε την τιμή που αναφέρεται στο φύλλο προδιαγραφών του κατασκευαστή τους.
- Το ενδεχόμενο έκρηξης στο εσωτερικό των μετασχηματιστών ή στο εξωτερικό τους και πρόκλησης διάσπασης των ελαίων από ηλεκτρικό τόξο αποκλείστηκε για πολλούς λόγους:
  - Τα δοχεία των μετασχηματιστών δεν έχουν καμία απολύτως ένδειξη διόγκωσης λόγω υπερπίεσης.
  - Η ηλεκτρική παροχή από το δίκτυο διακόπηκε 0.54 δευτερόλεπτα πριν την εμφάνιση της πρώτης φωτεινής ένδειξης (φωτιάς) στα βίντεο. Κατά τη στιγμή της μηχανικής ρήξης των δοχείων (πρόκληση σχισμών) δεν υπήρχε ηλεκτρική παροχή που θα μπορούσε να προκαλέσει τόξο.
  - Η θέση των μετασχηματιστών βρίσκεται πολύ μακριά από το σημείο εκδήλωσης της πρώτης φωτεινής ένδειξης, η οποία προσδιορίστηκε από την συνεκτίμηση των εικόνων από τα βίντεο.
  - Στις βάσεις δεδομένων των διάφορων υπολογιστικών πακέτων που είναι διεθνώς διαθέσιμα και αποδεκτά για την εκτίμηση των συνεπειών από φωτιά ή έκρηξη εύφλεκτων ουσιών, δεν συμπεριλαμβάνεται κάποια ουσία παρόμοιας δομής και ιδιοτήτων με τα έλαια αυτά τα οποία δεν δημιουργούν πυρόσφαιρα.
  - Υπολογίστηκε η ποσότητα ελαίου που μπορεί να βγήκε από τριγωνική σχισμή που προκλήθηκε από μεταλλικό αντικείμενο στο κέλυφος του μετασχηματιστή της επιβατικής. Η ποσότητα αυτή είναι 110-195 κιλά, ποσότητα αμελητέα, που δεν θα μπορούσε να έχει προκαλέσει πυρόσφαιρα τέτοιου μεγέθους.
  - Στην άμεση περιοχή κοντά στις τελικές θέσεις των μηχανών της εμπορικής βρέθηκαν σημαντικές ποσότητες ελαίων σε κοιλότητες του εδάφους, χωρίς ενδείξεις θερμικής καταπόνησης (διαφανή).
  - Δεν έχει εντοπιστεί αξιόλογη ποσότητα λευκής σκόνης (πούδρας) SiO_2, προϊόν καύσης των ελαίων.

<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Τα έλαια σιλικόνης των μετασχηματιστών αποκλείεται να έχουν προκαλέσει την πυρόσφαιρα, διότι όλα τα πιθανά σενάρια έχουν αποκλειστεί μετά από διεξοδική και εξονυχιστική διερεύνηση.</u>

<u>Β. Τι προκάλεσε την πυρόσφαιρα (Fireball)</u>

- Η πυρόσφαιρα έχει χαρακτηριστικό πορτοκαλλοκόκινο χρώμα, μία ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά την καύση των ατόμων άνθρακα όταν το μίγμα καύσης είναι πλούσιο σε καύσιμο. Επιπρόσθετα, στη φάση της μείωσης της έντασης της καύσης, εμφανίζεται ένα μαύρο “πέπλο”, από άκαυστα σωματίδια άνθρακα (κάπνα), που προκύπτει κατά την καύση αρωματικών υδρογονανθράκων.
- Η ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου είναι πολύ χαρακτηριστική και παραπέμπει αποκλειστικά σε καύση πολύ εύφλεκτων υδρογονανθράκων, πολύ πτητικών, με θερμοκρασία ανάφλεξης υλικού <10 °C. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι πολύ συγκεκριμένοι, με 5-9 άτομα άνθρακα στη δομή τους.
- Αποκλείεται κατηγορηματικά η πιθανότητα παρουσίας υγραερίων (3-4 άτομα άνθρακα), διότι σε τέτοια περίπτωση θα είχε προκύψει έκρηξη (detonation) με ταχύτητες του μετώπου της φλόγας >340 m/s.
- Οι ταχύτητες μετώπου φλόγας που καταγράφηκαν ήταν 223 m/s (μέγιστη, στην έναρξη του φαινομένου) και στη διάρκεια του κυμαίνεται μεταξύ 10-40 m/s, δηλαδή χαρακτηρίζεται σαν έντονη καύση με πολύ τυρβώδη χαρακτηριστικά (deflagration), που παρατηρούνται όταν υπάρχει καύση υδρογονανθράκων.

<u>Γ. Δεδομένα που προκύπτουν από τις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ.</u>

Το Γ.Χ.Κ. έδωσε τα αποτελέσματα πλήθους αναλύσεων από δείγματα χώματος, προσωπικών αντικειμένων των επιβατών (που φυλάσσονταν στο Αστυνομικό Τμήμα Τεμπών), και από την εσωτερική επένδυση των βαγονιών της επιβατικής αμαξοστοιχίας (από τον περιφραγμένο και φυλασσόμενο χώρο). **<u>Στα αποτελέσματα αυτά εμφανίζεται πλήθος αρωματικών και πολυαρωματικών υδρογονανθράκων, ενώσεις που δεν βρίσκονται στη φύση, ούτε υπάρχει πιθανότητα να είναι προϊόν ανθρώπινης παρέμβασης μετά το συμβάν, λόγω της εμφάνισης τους ακόμη και σε δείγματα από αντικείμενα που ήταν σε φυλασσόμενους χώρους.</u>**

Αχ. Μιχόπουλος ©

Δ. Δεδομένα που προκύπτουν από τις μαρτυρίες Επιβατών

Μεγάλο πλήθος επιβατών που βρίσκονταν στα μπροστινά βαγόνια και επεβίωσαν, περιγράφουν τα βιώματα τους κατά τη διάρκεια του συμβάντος. Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα εξής:

- Έντονη οσμή υλικού που θύμιζε κάτι μεταξύ βενζίνης και οινοπνεύματος. Άλλες μαρτυρίες αναφέρονται σε οσμή που θύμιζε παλιά καθαριστήριο ρούχων (χρησιμοποιούσαν διάφορους οργανικούς διαλύτες).
- Έντονη αίσθηση "καψίματος" στην αναπνευστική οδό και στο δέρμα, χωρίς να υπάρχει ορατή φωτιά κάπου κοντά. Η αίσθηση αδυναμίας αναπνοής λόγω "καψίματος" αναφέρεται από πολλά άτομα που επέζησαν.
- Αναφέρεται και παρατήρηση νέφους να μπαίνει μέσα σε βαγόνι από παράθυρο και να παλινδρομεί, πριν εκδηλωθεί η φωτιά στο έδαφος.
- Προσωπικά αντικείμενα επιβατών (ρούχα, παπούτσια, τσάντες) μετά την παράδοση τους στους δικαιούχους και για πολύ μεγάλο διάστημα (ημέρες ως εβδομάδες) εξέπεμπαν πολύ έντονη οσμή, ίδια με αυτή που βίωσαν μέσα στα βαγόνια πριν την έναρξη της φωτιάς (κάτι μεταξύ βενζίνης και οινοπνεύματος). Αναφέρεται ότι η οσμή ήταν τόσο έντονη, που ο ιδιοκτήτης αναγκάστηκε να πετάξει το αντικείμενο για να απαλλαγεί.
- Μετά την σύγκρουση υπήρξαν καταγραφές στο 112 ατόμων που ζητούν βοήθεια και βρέθηκαν εν τέλει νεκρά λόγω της φωτιάς, που αποκαλύπτει ότι η ανάφλεξη στο έδαφος έγινε με καθυστέρηση λίγων λεπτών.

Δ. Η μάζα των υδρογονανθράκων στην πυρόσφαιρα

Η πυρόσφαιρα έχει διαστάσεις: **Διάμετρος κεφαλής 80 m, Μήκος 167 m**. Η διάρκεια της είναι 9.6 s και ο **μέγιστος όγκος 544000 m^3**. Για την εκτίμηση της ποσότητας υδρογονανθράκων που συμμετείχαν στο σχηματισμό της πυρόσφαιρας έγινε χρήση των **διεθνώς αποδεκτών καμπυλών συσχέτισης όγκου-μάζας**. **Τα αποτελέσματα δίνουν μια περιοχή τιμών από 3.8 ως 5.4 τόνους υδρογονανθράκων**. Η ακτινοβολία της πυρόσφαιρας εκτιμήθηκε σαν εξαιρετικά έντονη μεν, αλλά πολύ μικρής διάρκειας. **Εκτιμάται ότι η ακτινοβολία επηρέασε πολύ μικρό αριθμό επιβατών, μόνο όσα άτομα ήταν στη δεξιά πλευρά και κοντά σε παράθυρο.**

Ε. Η μάζα των υδρογονανθράκων που χύθηκαν στο έδαφος

Στις περιπτώσεις σχηματισμού πυρόσφαιρας από διάρρηξη δοχείου μεταφοράς υδρογονανθράκων αυτής της πτητικότητας και αναφλεξιμότητας, πάντα παρατηρείται ότι ένα μέρος της αρχικής ποσότητας (30%-40%) αεριοποιείται και σχηματίζει νέφος που αναφλέγεται, ενώ το υπόλοιπο πέφτει στο έδαφος σε υγρή μορφή και συνεχίζει να καίγεται. Στην περίπτωση του συμβάντος των Τεμπών, λόγω των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών η εκτίμηση είναι ότι η σχετική κατανομή είναι 30%/70%. **Έτσι, η ποσότητα που έπεσε στο έδαφος είναι 8.9-12.6 τόνοι. Αυτή η εκτίμηση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, διότι ερμηνεύει την ανάφλεξη στη συνέχεια όλων των εύφλεκτων υλικών των βαγονιών. Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω οδήγησε στον θάνατο λόγω απανθράκωσης των 27 επιβατών.** Ένα ποσοστό της ποσότητας που έπεσε στο έδαφος κάηκε (δύσκολο να εκτιμηθεί, ελλείψει στοιχείων). Ένα άλλο ποσοστό κύλησε επιφανειακά στο πρανές (καιόμενο), και ένα άλλο απορροφήθηκε από το έδαφος και μετά την κατάσβεση άρχισε να εξατμίζεται, δημιουργώντας πάλι αποπνικτικές συνθήκες, ενώ δημιούργησε και ζήτημα ασφάλειας. Η εξυγίανση του εδάφους (απομάκρυνση του επιφανειακού στρώματος του χώματος) έδωσε λύση στα προβλήματα αυτά, αλλά έπρεπε να είχε προηγηθεί δειγματοληψία χώματος με οργανωμένο τρόπο, ακολουθώντας τα προβλεπόμενα πρωτόκολλα.

Από τα στοιχεία των αναλύσεων δειγμάτων χώματος του Γ.Χ.Κ. και προβολή πίσω στον χρόνο προκύπτει (μελέτη Ν. Κάρναβου) ότι η ποσότητα που χύθηκε στο έδαφος ήταν 11.5 τόνοι υδρογονανθράκων.

Ζ. Η συνολική μάζα των υδρογονανθράκων στον συρμό

ΚΑΤΑΛΗΚΤΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ:

Η συνολική ποσότητα των υδρογονανθράκων στο συρμό εκτιμάται μεταξύ 13.7 και 19 τόνων.

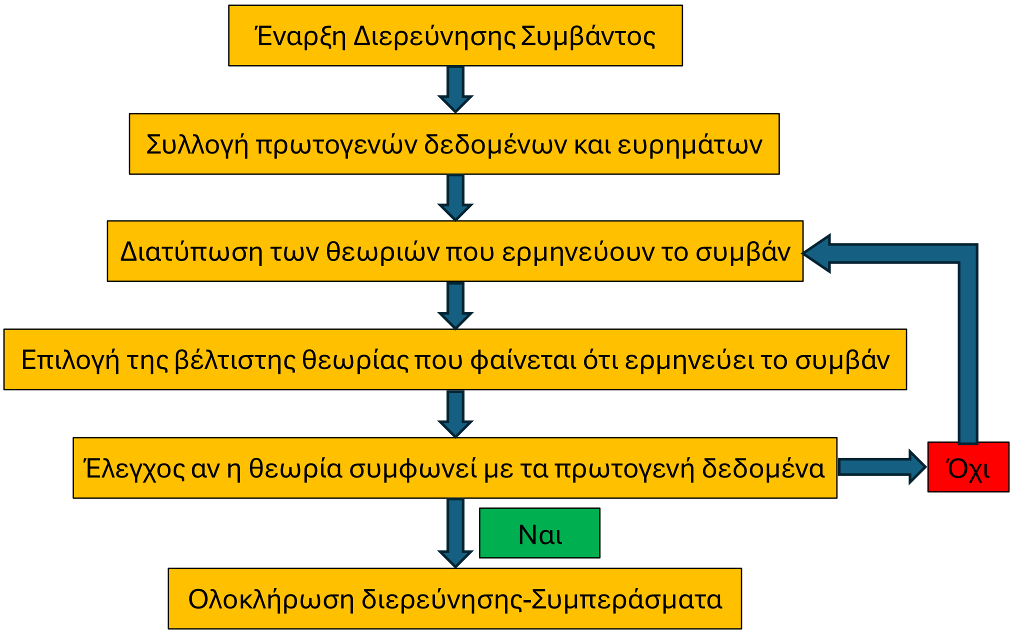
Η. Η θέση των υδρογονανθράκων στον συρμό

Η πιθανή θέση των υδρογονανθράκων στο συρμό (προκύπτει από τη συνεκτίμηση των διάφορων δεδομένων) είναι σε ένα ή περισσότερα από τα πρώτα 3 βαγόνια (πλατφόρμες) της εμπορικής αμαξοστοιχίας. Η ανεύρεση πειστηρίων (υλικών πρόσδεσης φορτίου) στα χώματα που αφαιρέθηκαν από την περιοχή, εντείνει την υποψία ότι οι δεξαμενές ήταν τοποθετημένες στα διάκενα που άφηναν οι λαμαρίνες επάνω στις πλατφόρμες. Η εύρεση στην περιοχή δύο καπακιών από δοχεία (παλετοδεξαμενές) μεταφοράς χημικών (1 m^3) ενισχύει τις υποψίες ότι η μεταφορά έγινε με τέτοιου τύπου δοχεία.

Αχ. Μιχόπουλος ©

2. Μέθοδος Διερεύνησης-Συμπεράσματα

Η μεθοδολογία διερεύνησης ακολουθεί την κλασσική προσέγγιση, σύμφωνα με το λογικό διάγραμμα που αποτυπώνεται στη συνέχεια:



Πρωτογενή Δεδομένα Συμβάντος υπό διερεύνηση.

Συλλογή και καταγραφή όσων στοιχείων σχετίζονται με το συμβάν και συμβάλλουν στη διερεύνηση:

- Ευρήματα από το Πεδίο
- Μαρτυρίες Παρόντων στο Συμβάν
- Ιατροδικαστικά Δεδομένα
- Καταγραφές Οργάνων
- Βιντεοληπτικό Υλικό
- Ηχητικά Δεδομένα
- Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων

Θεωρίες που ερμηνεύουν το Συμβάν.

- Από την ανάλυση των δεδομένων, ποια θεωρία που ερμηνεύει τα ευρήματα φαίνεται να είναι η πλέον αξιόπιστη;
- Ποια από τα ευρήματα δεν ερμηνεύονται από την θεωρία αυτή;
- Υπάρχει μια συσχέτιση αιτίου-αιτιατού στην θεωρία;
- Η πλέον αξιόπιστη θεωρία πρέπει να είναι επαρκής στην ερμηνεία όλων των πρωτογενών δεδομένων και ευρημάτων.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε αξιοποιεί όλες τις θεμελιώδεις γνώσεις της Χημικής Μηχανικής, όσον αφορά τα απαιτούμενα επί μέρους γνωστικά πεδία, όπως:

- **Φαινόμενα Μεταφοράς Μάζας, Ορμής, Ενέργειας**
- **Θερμοδυναμική**
- **Φυσικοχημεία**
- **Χημική Κινητική Αντιδράσεων και Θεωρία Καύσης**
- **Οργανική Χημεία**
- **Εφαρμοσμένα Μαθηματικά**
- **Κώδικες Σχεδιασμού Εγκαταστάσεων Διϋλιστηρίων και Χημικών Εργοστασίων**
- **Ενόργανη Ανάλυση (Instrumental Analysis)**

Αχ. Μιχόπουλος ©

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν συνολικά από την ανάλυση, έχουν ως εξής:

1. Η δημιουργία του fireball **αποκλείεται να οφείλεται σε ανάφλεξη του ελαίου σιλικόνης των μηχανών των αμαξοστοιχιών λόγω του πολύ ψηλού σημείου ανάφλεξης (>300 °C)**. Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου ελαίου, εξ άλλου, έχει γίνει και με κριτήριο την ασφάλεια των μεταφορών.
2. Εξετάστηκε το υποθετικό σενάριο ανάφλεξης των ελαίων σιλικόνης λόγω έκθεσης σε σπινθήρα από βραχυκύκλωμα μέσα σε μετασχηματιστή. Το σενάριο αποκλείστηκε λόγω έλλειψης παροχής ρεύματος αμέσως μετά την πρόσκρουση. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα είχε πρώτα προκληθεί διόγκωση του δοχείου του μετασχηματιστή. Επιπρόσθετα, οι υπολογισμοί της ποσότητας ελαίου που διέρρευσε στα πρώτα 10 δευτερόλεπτα από οπή που προκλήθηκε από πρόσκρουση ήταν 110-195 κιλά, ποσότητα πολύ μικρή για να προκαλέσει fireball τέτοιων διαστάσεων. **Πουθενά δεν βρέθηκε αξιόλογη ποσότητα SiO_2 (πούδρα) που θα είχε προκύψει σαν προϊόν καύσης των ελαίων. Αντίθετα, έγινε συλλογή με στουπιά των ποσοτήτων ελαίων που λίμναζαν σε κοιλότητες του εδάφους, που καταδεικνύει ότι πολύ μικρή ποσότητα των ελαίων κάηκαν.**
3. Με δεδομένα:
   - Τις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ. που εντοπίζουν στα δείγματα χώματος (μετά πάροδο 29 ημερών) εύφλεκτους και πτητικούς υδρογονάνθρακες και ιδιαίτερα αρωματικούς και πολυαρωματικούς,
   - Τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούσαν τη στιγμή του συμβάντος (8-10 °C),
   - Τις Θερμοκρασίες Ανάφλεξης των ουσιών που μελετήθηκαν,

   Προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υλικό που δημιούργησε το νέφος και ανεφλέγη δημιουργώντας το fireball ήταν **μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων** που περιείχε **βενζόλιο** σε μεγάλη συγκέντρωση (θερμοκρασία ανάφλεξης -11 °C), **τολουόλιο** (θερμοκρασία ανάφλεξης 4 °C) και **Ξυλόλιο**. Έτσι ερμηνεύεται η άμεση ανάφλεξη του νέφους με τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υγρό ήταν **μίγμα των τριών αρωματικών υδρογονανθράκων**.
4. Για τη δημιουργία fireball αυτού του μεγέθους, **η ποσότητα αρωματικού υδρογονάνθρακα (βενζολίου, τολουολίου ή ξυλολίου) ή μίγματος των τριών**, που απαιτείται, είναι της τάξης των **3.8-5.4 τόνων,** βάσει των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Η παρουσία στα δείγματα 7 διαφορετικών πολυαρωματικών υδρογονανθράκων (προϊόντα ατελούς καύσης των αρωματικών) επιβεβαιώνει την παραπάνω διαπίστωση. Πρόσθετο στοιχείο επιβεβαίωσης είναι η έντονη παρουσία σωματιδίων άνθρακα (κάπνας) στο fireball, φαινόμενο ιδιαίτερα έντονο κατά την καύση βενζολίου.
5. Η ακτινοβολία που δημιούργησε το fireball ήταν ιδιαίτερα έντονη, μεγαλύτερη από 10 kW/m^2 σε απόσταση μέχρι 223 m από το κέντρο του. Ωστόσο, η ένταση αυτή, σε συνδυασμό με τη διάρκεια του φαινομένου, δεν φαίνεται να δικαιολογεί την απανθράκωση των θυμάτων. Εδώ πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο βαθμός απανθράκωσης ήταν συνάρτηση του χρόνου έκθεσης στη δευτερογενή φωτιά που συντηρήθηκε από τα καιόμενα υλικά. Από τη στιγμή που διασώθηκαν επιβάτες από το κυλικείο χωρίς εγκαύματα λόγω ακτινοβολίας, είναι αδύνατο να απανθρακώθηκε κάποιο θύμα από το fireball. Τα ηχητικά δεδομένα του 112 αποκαλύπτουν ότι **επιβάτες που επιβίωσαν της σύγκρουσης, βρέθηκαν απανθρακωμένοι, η φωτιά ξεκίνησε 1.5-3 λεπτά μετά τη σύγκρουση**.
6. **Η ποσότητα των αρωματικών υδρογονανθράκων που χύθηκε στο έδαφος εκτιμάται σε 8.9-12.6 τόνοι**. Ένα μέρος του κάηκε δευτερογενώς υπό τη μορφή pool fire και προκάλεσε την ανάφλεξη άλλων υλικών ή χύθηκε στο έδαφος και απορροφήθηκε από το χώμα χωρίς να καεί. Από τα μηνύματα στο 112 που δημοσιοποιήθηκαν φαίνεται σαφώς ότι πολλά άτομα που επιβίωσαν της σύγκρουσης, απανθρακώθηκαν από τη φωτιά που ξεκίνησε 1.5-3 λεπτά αργότερα.
7. Η ποσότητα που παρέμεινε στο έδαφος μετά την κατάσβεση εξατμιζόταν συνεχώς, δημιουργώντας συνθήκες επικίνδυνες για την ασφάλεια των εμπλεκομένων και η αναπνοή ήταν αδύνατη. **Έτσι προέκυψε η ανάγκη εξυγίανσης, με αντικατάσταση του επιμολυσμένου χώματος με καθαρό**.
8. **Η συνολική ποσότητα των αρωματικών υδρογονανθράκων που εκτιμάται ότι υπήρχε στην Εμπορική αμαξοστοιχία είναι 13.7-19 Τόνοι**.
9. **Η κινητική ενέργεια των δύο τρένων ήταν πράγματι πολύ μεγάλη, αλλά αναλώθηκε στην παραμόρφωση των μετάλλων. Είναι απολύτως αδύνατο η πυρόσφαιρα να είναι το αποτέλεσμα απελευθέρωσης κινητικής ενέργειας. Η πυρόσφαιρα ακτινοβολεί, λόγω της σύνθεσης της μάζας που καίγεται και εκπέμπει φωτόνια λόγω διέγερσης των ατόμων άνθρακα.**
10. **Όλοι οι οργανικοί διαλύτες (συμπεριλαμβανομένων των αρωματικών) που χρησιμοποιούνται στην αραίωση χρωμάτων είναι εξαιρετικά πτητικοί, και χρησιμοποιούνται απλά για την αραίωση του χρώματος για να γίνει καλύτερη (ποιοτικά) η εφαρμογή του στην επιφάνεια προς βαφή. Λόγω της πτητικότητας τους, εξατμίζονται πολύ γρήγορα. Μετά πάροδο 1 ώρας από την εφαρμογή της βαφής, έχει εξατμιστεί πρακτικά το σύνολο της ποσότητας που βρίσκονταν στο χρώμα. Έτσι αποκλείεται το ενδεχόμενο παραγωγής πυρόσφαιρας από υπολειμματικές ποσότητες διαλυτών από την βαφή των τρένων.**

Αχ. Μιχόπουλος ©

3. Εισαγωγή

Στο μεγάλο δυστύχημα των Τεμπών της 28/2/2023, μεγάλος αριθμός των θυμάτων (27 από σύνολο 57, σύμφωνα με τα ιατροδικαστικά δεδομένα) βρέθηκαν απανθρακωμένα λόγω της πυρκαγιάς που ακολούθησε τη σύγκρουση. Πριν εκδηλωθεί η πυρκαγιά, έγινε μια σειρά εκρήξεων (ηλεκτρικών εκκενώσεων λόγω βραχυκυκλωμάτων) και ακολούθησε η δημιουργία fireball (πυρόσφαιρας).

Αρχικά, η δημιουργία του fireball αποδόθηκε λανθασμένα (μετά από σχετική γνωμοδότηση του Γ.Χ.Κ.) σε ανάφλεξη του ελαίου σιλικόνης που χρησιμοποιείται σαν ψυκτικό μέσο των μετασχηματιστών των μηχανών των αμαξοστοιχιών. Ωστόσο, το συγκεκριμένο υλικό είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αναφλεγεί και δεν είναι συμβατό με την αιτία της δημιουργίας του φαινομένου της πυρόσφαιρας όπως έχει καταγραφεί από τις κάμερες. Επισημαίνεται ότι ο σχεδιασμός της σύνθεσης και ιδιοτήτων των συγκεκριμένων ελαίων έγινε με στόχο της διασφάλισης ότι δεν θα μπορούσαν να αναφλεγούν σε περίπτωση ατυχήματος. **Μπορούν να καούν με έντονη υποβοήθηση άλλου εξαιρετικά εύφλεκτου υλικού, αλλά θα σβήσουν μόλις σταματήσει η υποβοήθηση**. Αν η θεώρηση αυτή ήταν σωστή, έπρεπε μεταξύ των άλλων όλες οι επιφάνειες που εκτέθηκαν στη φωτιά να είναι καλυμμένες με ένα στρώμα οξειδίου του πυριτίου (άμμος, SiO_2), διότι η καύση πυριτιούχων ενώσεων (τέτοια είναι τα έλαια σιλικόνης) έχει αναγκαστικά σαν προϊόν καύσης το οξείδιο του πυριτίου που είναι θεμελιώδες συστατικό των ελαίων. Τέτοια διαπίστωση για εκτεταμένη εύρεση SiO_2 δεν αναφέρεται στις αναλύσεις, ούτε σαν οπτική παρατήρηση. Αν τα έλαια σιλικόνης είχαν πράγματι καεί, η ποσότητα έπρεπε να είναι 809 κιλά SiO_2/1000 κιλά ελαίου. Αν ίσχυαν οι ισχυρισμοί ότι η πυρόσφαιρα και η φωτιά προκλήθηκε από 7200 κιλά ελαίου, η ποσότητα SiO_2 θα ήταν 5825 κιλά. Τέτοια διαπίστωση δεν καταγράφεται σε καμία από τις πραγματογνωμοσύνες ή αυτοψίες.

Οι δειγματοληψίες από το σημείο του δυστυχήματος που έγιναν από το Γ.Χ.Κ. ένα μήνα μετά το ατύχημα και οι επακόλουθες ποιοτικές αναλύσεις έδειξαν την ύπαρξη άγνωστων ποσοτήτων μεγάλου πλήθους εύφλεκτων αρωματικών και πολυαρωματικών υδρογονανθράκων. Σημειωτέον ότι οι εν λόγω υδρογονάνθρακες που προκάλεσαν την πυρόσφαιρα είναι πολύ πτητικοί, οπότε μετά την πάροδο ενός μηνός βρέθηκαν τα υπολείμματα της αρχικής ποσότητας και σύστασης. Οι πλέον πτητικοί εξατμίστηκαν πιο γρήγορα και στη δειγματοληψία δεν εντοπίζονται, γιατί στο διάστημα που παρεμβλήθηκε η διάχυση μέσω του πορώδους του εδάφους και η εξάτμιση ελαχιστοποίησε την παρουσία τους, έτσι στις αναλύσεις εμφανίζονται μόνο οι λιγότερο πτητικές ενώσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σημαντική παρουσία πολυαρωματικών ενώσεων, που προκύπτουν σαν παραπροϊόντα κατά την ατελή καύση των αρωματικών υδρογονανθράκων.

Επισημαίνεται ότι αν η δειγματοληψία του χώματος είχε γίνει άμεσα (μέσα σε 1-2 μέρες μετά το ατύχημα) και πριν γίνει η εξυγίανση της περιοχής (αντικατάσταση του επιφανειακού στρώματος του χώματος με καθαρό χώμα) και αν τα αποτελέσματα των αναλύσεων του Γ.Χ.Κ. είχαν και τα ποσοτικά αποτελέσματα (κάτι που θα έπρεπε υπό κανονικές συνθήκες να συμπεριλαμβάνεται στην αναφορά του Γ.Χ.Κ.), θα ήταν πολύ εύκολο να σχηματιστεί μια πλήρης εικόνα για την σύνθεση του μίγματος που προκάλεσε το fireball.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και ανάλυση των εικόνων που πάρθηκαν από τα βίντεο των καμερών ελέγχου κυκλοφορίας της Εθνικής Οδού έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης των πιθανών αιτιών που ερμηνεύει το συμβάν των εκρήξεων, δημιουργίας του fireball και εν τέλει της πυρκαγιάς.

Το κυρίαρχο στοιχείο της διερεύνησης είναι ο προσδιορισμός της ελάχιστης ποσότητας αναφλέξιμου υγρού υδρογονάνθρακα που μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση fireball τέτοιων διαστάσεων όπως έχει καταγραφεί από τρεις διαφορετικές κάμερες ασφαλείας και ελέγχου κυκλοφορίας.

Αχ. Μιχόπουλος ©

4. Θεμελιώδεις αρχές της θεωρίας καύσης υδρογονανθράκων

α. Υδρογονάνθρακες, Γενικά στοιχεία

Οι υδρογονάνθρακες είναι μία πολύ μεγάλη οικογένεια οργανικών ενώσεων με κοινά δομικά στοιχεία τον άνθρακα (C) και το υδρογόνο (H). Κύρια πηγή τους είναι το αργό πετρέλαιο και χρησιμοποιούνται κύρια σαν καύσιμα και δευτερευόντως σαν πρώτη ύλη στην πετροχημική βιομηχανία. Με κριτήριο τη δομή τους μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες, οι κύριες των οποίων είναι:

- **Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες**, ή Αλκάνια, ή Παραφίνες, (C_nH_{2n+2}), n≥1. Τα άτομα του άνθρακα σχηματίζουν αλυσίδα, που μπορεί να είναι ευθεία, ή διακλαδισμένη. Στο μόριο εμφανίζονται αποκλειστικά **μονοί δεσμοί** μεταξύ των ατόμων.
- **Ακόρεστοι υδρογονάνθρακες**:
  - Αλκένια, ή Ολεφίνες, (C_nH_{2n}), n≥2. Είναι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με έναν διπλό δεσμό (οι υπόλοιποι δεσμοί είναι μονοί), η αλυσίδα των ανθράκων μπορεί να είναι ευθεία, ή διακλαδισμένη.
  - Αλκίνια, (C_nH_{2n-2}), n≥2. Είναι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με έναν τριπλό δεσμό (οι υπόλοιποι δεσμοί είναι μονοί), η αλυσίδα των ανθράκων μπορεί να είναι ευθεία, ή διακλαδισμένη.
- **Κυκλικοί κεκορεσμένοι υδρογονάνθρακες**, ή Ναφθένια, (C_nH_{2n}), n≥3. Τα άτομα του άνθρακα σχηματίζουν κυκλική αλυσίδα. Στο μόριο εμφανίζονται αποκλειστικά μονοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων.
- **Αρωματικοί υδρογονάνθρακες**, $(C_6H_{6-n})(CH_3)_n$, n=1, 2, 3. Κυκλικοί ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με έναν αρωματικό δακτύλιο:
  - Βενζόλιο (C_6H_6)
  - Τολουόλιο $(C_6H_5)CH_3$
  - Ξυλόλιο $(C_6H_4)(CH_3)_2$, 3 ισομερή
  - Τριμεθυλοβενζόλιο $(C_6H_3)(CH_3)_3$, 3 ισομερή
  - Αιθυλοβενζόλιο $(C_6H_5)(C_2H_5)$

β. Καύση Υδρογονανθράκων, Γενικά στοιχεία

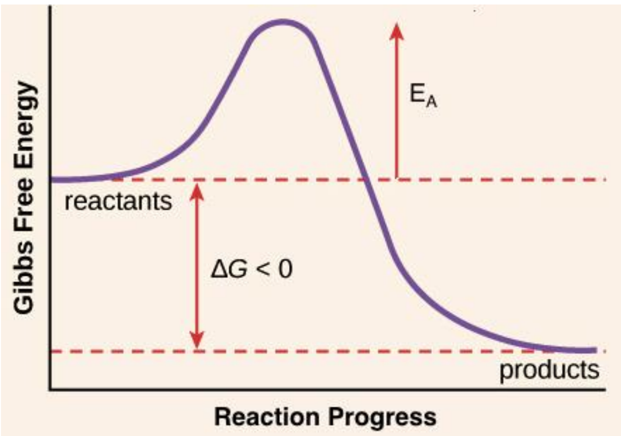
Καύση χαρακτηρίζεται η αντίδραση μεταξύ του **οξυγόνου** και ενός **άλλου στοιχείου**.

- Η καύση είναι **εξώθερμη αντίδραση**, δηλαδή πάντα συνοδεύεται από **έκλυση θερμότητας**.
- Όταν έχουμε καύση ενός υδρογονάνθρακα, η αντίδραση γίνεται πάντοτε **μεταξύ των ατμών του υδρογονάνθρακα και του οξυγόνου**. Ποτέ δεν γίνεται καύση του υδρογονάνθρακα σε υγρή μορφή. **Πάντα προηγείται η παραγωγή ατμών και έπεται η καύση τους.**
- Ακόμη και σε περιπτώσεις λιμνάζουσας ποσότητας υγρού υδρογονάνθρακα που καίγεται, πριν από την καύση προηγείται η παραγωγή ατμών από την λιμνάζουσα ποσότητα.
- Η καύση μπορεί να είναι **τέλεια**, ή **ατελής**. **Τέλεια** ορίζεται η **στοιχειομετρική καύση** με προϊόντα αποκλειστικά **νερό** και **διοξείδιο του άνθρακα**. Η **ατελής** καύση παράγει **νερό**, **διοξείδιο του άνθρακα**, **μονοξείδιο του άνθρακα, πλήθος άλλων ενώσεων** και **καθαρό άνθρακα** (μικροσωματίδια).
- Τέλεια καύση επιτυγχάνεται μόνο σε αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες (θάλαμοι καύσης κινητήρων, καυστήρες) με σταθερές αναλογίες καυσίμου/οξυγόνου, πλήρη ανάμειξη και ομοιογένεια και την κατάλληλη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης.
- Η **τέλεια**, ή **στοιχειομετρική καύση** είναι **σύμφωνη με την αρχή της διατήρησης της μάζας (Lavoisier),** σύμφωνα με την οποία, ο αριθμός των ατόμων κάθε ουσίας πριν την αντίδραση ισούται με τον αριθμό των ατόμων μετά την αντίδραση.
- Οι **εξισώσεις** που περιγράφουν την **τέλεια**, ή **στοιχειομετρική καύση** των **υδρογονανθράκων** είναι:

Γενική Εξίσωση		$4C_xH_y+(4x+y)O_2 \rightarrow 4xCO_2+2yH_2O$
Αλκάνια	n≥1	$2C_nH_{2n+2}+(3n+1)O_2 \rightarrow 2nCO_2+2(n+1)H_2O$
Αλκένια	n≥2	$2C_nH_{2n}+3nO_2 \rightarrow 2nCO_2+2nH_2O$
Αλκίνια	n≥2	$2C_nH_{2n-2}+(3n-1)O_2 \rightarrow 2nCO_2+(n-1)H_2O$
Ναφθένια	n≥3	$2C_nH_{2n}+3nO_2 \rightarrow 2nCO_2+2nH_2O$
Αρωματικοί	n=1, 2, 3	$(C_6H_{6-n})(CH_3)_n+3(4+n)O_2 \rightarrow (6+n)CO_2+(3+n)H_2O$

Αχ. Μιχόπουλος ©

- Παράδειγμα: Η **στοιχειομετρική καύση** του οκτανίου είναι: $2C_8H_{18} + 25O_2 \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O$
- Η αντίδραση καύσης είναι μία εξαιρετικά πολύπλοκη διεργασία, που αποτελείται από μεγάλο αριθμό επί μέρους σταδίων σχηματισμού ελευθέρων ριζών, ενδιάμεσων ενώσεων ή ιόντων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η καύση του υδρογόνου για παραγωγή νερού αποτελείται από 18 διακριτά στάδια.
- Η καύση ενός αρωματικού υδρογονάνθρακα **μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερα από 100 στάδια**.
- Με την καύση τα αντιδρώντα μόρια (καύσιμο και οξυγόνο) απελευθερώνουν σημαντική ενέργεια (με τη μορφή θερμότητας) και μεταπίπτουν σε σταθερότερη ενεργειακή κατάσταση. Ωστόσο, αυτό δεν γίνεται αυτόματα, παρά μόνον όταν συντρέχουν οι κατάλληλες συνθήκες:
  - **Αναλογία καυσίμου/οξυγόνου μεταξύ του άνω και κάτω ορίου ανάφλεξης (LEL, UEL)**
  - **Θερμοκρασία καυσίμου ψηλότερη από το σημείο ανάφλεξης (flash point)**
  - **Παρουσία θερμής πηγής (σπινθήρα, π.χ. βενζινοκινητήρες), ή θερμοκρασία αντιδρώντων ψηλότερη από τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης (π.χ. κινητήρες diesel).**

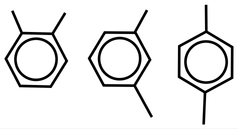
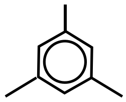
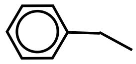


- Η ερμηνεία του γεγονότος ότι η καύση δεν γίνεται χωρίς την υποβοήθηση του σπινθήρα μπορεί να γίνει μόνο αν λάβουμε υπ’ όψη μας την ύπαρξη της ενέργειας ενεργοποίησης, E_A.
- Εν ολίγοις, αν δούμε το ενεργειακό προφίλ μιας αντίδρασης καύσης, βλέπουμε ότι τα αντιδρώντα έχουν μεν ψηλότερη ενέργεια από τα προϊόντα (ΔG>0), αλλά για να προχωρήσει η αντίδραση πρέπει τα αντιδρώντα πρώτα να υπερβούν το εμπόδιο της ενέργειας ενεργοποίησης, E_A.
- Αυτή η ενέργεια παρέχεται στα πρώτα μόρια που αναφλέγονται από τον σπινθήρα, ή από την εσωτερική ενέργεια στην περίπτωση της αυτανάφλεξης.
- Στην πορεία της αντίδρασης, **η ενέργεια που παρήχθη από τα αρχικά μόρια που αντέδρασαν (ΔG), λειτουργεί σαν πάροχος ενέργειας προς τα μόρια της επόμενης φάσης της καύσης**.

Αχ. Μιχόπουλος ©

5. Αρωματικοί υδρογονάνθρακες στα δείγματα του Γ.Χ.Κ.

Η αφθονία (abundance) των αρωματικών υδρογονανθράκων που εντοπίστηκαν στα δείγματα του Γ.Χ.Κ. (1η δειγματοληψία, 29 μέρες μετά το συμβάν) φαίνονται στον πίνακα:

ΔΕΙΓΜΑ	ΕΜΠ	ΣΕΛΙΔΑ	Xylene (o-, m-, p-)			1, 3, 5, -trimethyl Benzene			Ethyl Benzene		
			Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	%	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	%	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	%
											
2	12-2	7	1250	3700							
5	12-5	25	4500	10000							
6	12-6	5	1700	4800							
		6	3100	4550							
		9				1850	2100				
14	12-14	18	5500	10000							
		20	5500	10000							
		23				4000	10000				
		25				2000	4100				
19	12-19	24	5000	10000							
		25	5600	10000							
20	12-20	5	5600	10000	86%				3250	10000	12%
		7	4900	10000	76%				3250	10000	24%
21	12-21	22	5750	10000							

Η αναλυτική διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η αέρια χρωματογραφία – φασματομετρία μάζας (Gas chromatography–mass spectrometry, GC–MS), στην οποία μετά τον διαχωρισμό των ενώσεων στη στήλη του χρωματογράφου, γίνεται βομβαρδισμός της κάθε ουσίας με ηλεκτρόνια και καταγραφή των θραυσμάτων. Η αντιστοίχιση των αρωματικών γίνεται βάσει των τιμών του πίνακα:

Table 1. Compound quantification and confirmation ions, percent relative standard deviation (%RSD), and coefficient of determination

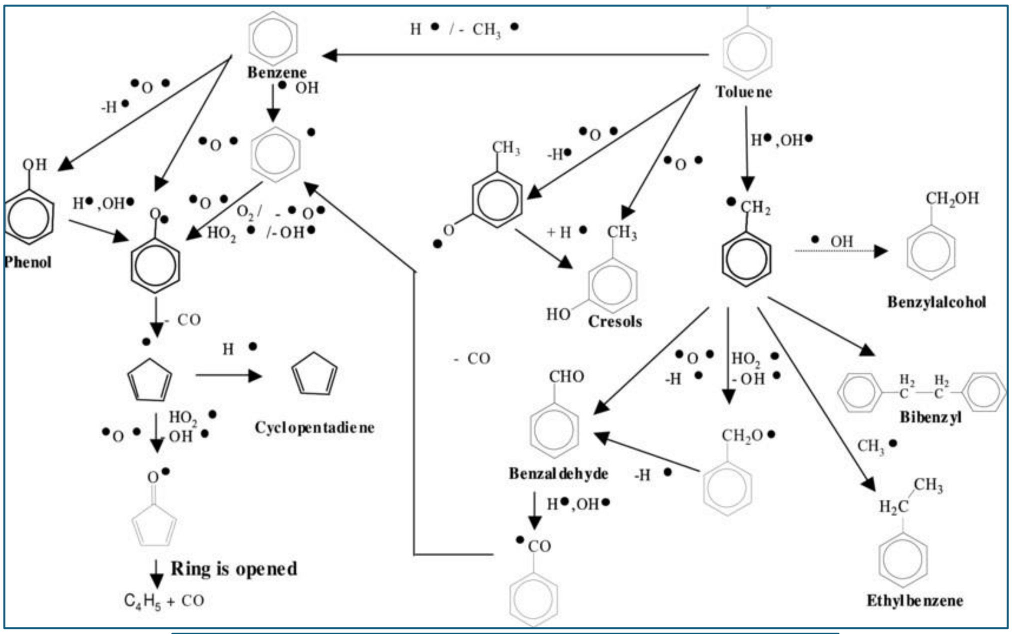
Compound	Quantification ion (m/z)	Confirming ion 1 (m/z)	Confirming ion 2 (m/z)	%RSD	Coefficient of determination (r^2)
1. Benzene-d_6 (ISTD)	84, 83	82	56	-	-
2. Benzene	78	77	79	2.2	0.99921
3. Toluene-d_8 (ISTD)	100, 99	98	70	-	-
4. Toluene	92	91	89	2.8	0.99849
5. Ethylbenzene-d_{10} (ISTD)	116, 115	98	70	-	-
6. Ethylbenzene	106	91	105	3.1	0.99831
7. *m*-Xylene + *p*-Xylene	106	91	105	2.3	0.99902
8. *o*-Xylene	106	91	105	3.1	0.99829
9. Isopropylbenzene	120	105	77	3.1	0.99829
10. *n*-Propylbenzene	120	91	92	3.2	0.99808
11. 3-Ethyltoluene	120	105	91	2.5	0.99889
12. 4-Ethyltoluene	120	105	91	4.9	0.99542
13. 1,3,5-Trimethylbenzene	120	105	119	4.8	0.9957
14. 2-Ethyltoluene	120	105	91	4.1	0.99693

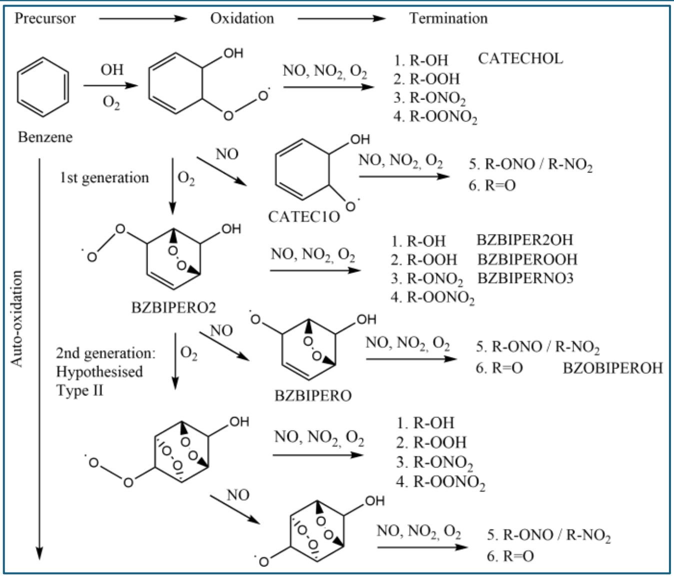
Επισημαίνεται ότι **οι εν λόγω ουσίες ΔΕΝ είναι φυσιολογικό να υπάρχουν στο χώμα**, εκτός από τις περιπτώσεις πολύ επιφανειακών (βάθος 5-30 m) κοιτασμάτων αργού πετρελαίου (π.χ. Texas, California, ΗΠΑ, Σαουδική Αραβία, Κουβέιτ), όπου η διάχυση πτητικών μέσω του εδάφους είναι αναμενόμενη. Αυτό **πιστοποιείται από το γεγονός ότι οι δειγματοληψίες που έγιναν στην περιοχή (2η δειγματοληψία) ήταν τελείως αρνητικές** (μη ανίχνευση), δεδομένης της πτητικότητας αυτών των υδρογονανθράκων.

Αχ. Μιχόπουλος ©

Στις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ. εμφανίζεται μια πολύ μεγάλη ποικιλία ενώσεων, οργανικών και μη. Επίσης, εμφανίζονται πολλές ενώσεις που περιέχουν πυρίτιο (Si), που προφανώς προέρχονται από τις αντιδράσεις αποσύνθεσης των ελαίων Σιλικόνης, όχι όμως οξείδιο του πυριτίου, το οποίο σημαίνει ότι δεν υπήρξε ολοκλήρωση της αντίδρασης καύσης των ελαίων.

Η ερμηνεία της εμφάνισης πολύ μεγάλης ποικιλίας καθαρά οργανικών ενώσεων αποδίδεται στο γεγονός ότι η καύση των αρωματικών υδρογονανθράκων είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη διεργασία που αναλύεται σε περισσότερα από 100 στάδια, ακολουθώντας πολλές πιθανές διαδρομές, κατά τη διάρκεια των οποίων δημιουργούνται αντίστοιχος αριθμός ελευθέρων ριζών και ιόντων, που στην πορεία, ελλείψει διαθέσιμης ενέργειας για να ολοκληρωθεί η καύση, ομαδοποιούνται σε νέα μόρια κατά τρόπο τυχαίο και ανεξέλεγκτο. Έτσι, μπορεί να προκύψει μια τεράστια ποικιλία πολυαρωματικών ενώσεων, ιδιαίτερα όταν η καύση είναι ατελής. Ενδεικτικά δίνονται τα παρακάτω σχηματικά διαγράμματα:



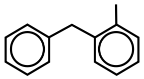
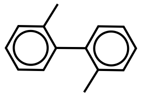
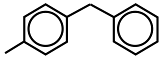
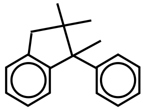
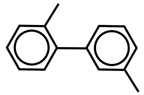
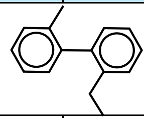
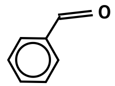


Η παρουσία σε πολλά δείγματα ενώσεων που περιέχουν σαν δομικό στοιχείο δύο αρωματικούς δακτυλίους, προδίδει ότι προέρχονται από συνένωση ελευθέρων ριζών ή ιόντων, που σχηματίστηκαν στην εξέλιξη του φαινομένου από την αρχική αποδόμηση μορίων βενζολίου, τολουολίου ή ξυλολίου, μετά την κορύφωση της έντασης, οπότε και άρχισε η καύση να γίνεται ατελής.

Τα παραπάνω δεδομένα ενισχύουν την εκτίμηση ότι η έκρηξη του αερίου νέφους και η επακόλουθη φωτιά οφείλεται σε παράνομο φορτίο αρωματικών υδρογονανθράκων.

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΦΘΟΝΙΑ (ABUNDANCE) ΠΟΛΥΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ

ΔΕΙΓΜΑ	ΕΜΠ	ΣΕΛΙΔΑ	1-methyl-2-phenylmethyl-Benzene			2,2-Dimethylbiphenyl			1-methyl-4-phenylmethyl-Benzene			1H-Indene, 2,3,dihydro-1,1,3-trimethyl-3-phenyl			1,1-Biphenyl, 2,3-dimethyl			1,1-Biphenyl, 2-ethyl			Benzaldehyde		
			Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	% V/V	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	% V/V	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	% V/V	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	% V/V	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	% V/V	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	% V/V	Ποσοτικοποίηση	Επιβεβαίωση	% V/V
																							
3	12-3	18	4500	10000																			
		19				5000	10000																
5	12-5	29				7500	10000																
		30							6800	10000													
		31										4500	10000										
6	12-6	12				6000	10000																
		13							6300	10000													
		14													5800	10000							
		16										6300	10000										
18	12-18	8							6500	10000													
		9																7100	10000				
		16							6500	10000													
		17							6700	10000													
		18				8000	10000																
19	12-19	33							6700	10000													
		34				7200	10000																
20	12-20	15							6500	10000													
		16							6600	10000													
25	12-25	43																			7700	10000	

Αχ. Μιχόπουλος ©

Στις 24/10/23 εστάλησαν από το ΓΧΚ τα πρωτογενή φάσματα των αναλύσεων, βάσει των οποίων εκδόθηκαν οι εκθέσεις εξέτασης των δειγμάτων χώματος, οι οποίες όμως είναι ποιοτικές. Η επιλεκτική αναφορά σε εύρεση ενώσεων που σχετίζονται αποκλειστικά με τα έλαια σιλικόνης και καμία αναφορά και περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων που σχετίζονται με υδρογονάνθρακες δεν είναι επιστημονικά δόκιμη και οδηγεί σε εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων και παραπλάνηση. Σε σχετική ανάλυση (Ν. Κάρναβος, «ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΕΠΑΝΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΥΣΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΓΕΝΙΚΟ ΧΗΜΕΙΟΥ ΤΟΥ ΚΡΑΤΟΥΣ»), με χρήση τεχνητής νοημοσύνης έγινε εξαγωγή εξαιρετικά χρήσιμων συμπερασμάτων στα οποία δεν έγινε καμία αναφορά από το Γ.Χ.Κ.

Αξιολόγηση δεδομένων από φάσματα FTIR

Από τα δεδομένα των αναλύσεων του Γ.Χ.Κ. (εκτυπώσεις των φασμάτων FTIR) έγινε ταυτοποίηση της παρουσίας BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene) σε δείγματα χώματος (ποιοτική) από τα φάσματα FTIR με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και ποσοτικός προσδιορισμός στο ένα δείγμα από χρωματογράφημα (δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία για τα άλλα δείγματα).

Τα ερωτήματα που τέθηκαν στο πρόγραμμα Τεχνητής Νοημοσύνης για την ανάλυση των φασμάτων FTIR είναι τα παρακάτω:

1. Αναγνώριση από το πίνακα κορυφών (σε cm^{-1}) φάσματος FTIR των πιθανών δομικών ομάδων υδρογονανθράκων.
2. Η πιθανότητα παρουσίας ελαίου σιλικόνης ή BTEX στο δείγμα.
3. Αν η παρουσία ελαίου σιλικόνης αποκλείει την παρουσία και BTEX.
4. Η πιθανότητα να υπάρχουν πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και άλλοι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες ως κατάλοιπα από καύση υδρογονανθράκων στο έδαφος.
5. Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας.

Η αξιοπιστία της φασματοσκοπίας FTIR ως μεθόδου ποιοτικού ελέγχου για την ταυτοποίηση οργανικών ενώσεων μπορεί να εκτιμηθεί με βάση διάφορους παράγοντες, όπως η ευαισθησία της μεθόδου, η ικανότητά της να αναγνωρίζει συγκεκριμένες ομάδες και η δυνατότητα διαφοροποίησης μεταξύ παρόμοιων ενώσεων. Η γενική αξιοπιστία εκτιμάται στο 80%, η αβεβαιότητα ±10%.

Χαρακτηριστικές Κορυφές FTIR για Έλαια Σιλικόνης

Η ανάλυση του φάσματος FTIR για έλαια σιλικόνης αποκαλύπτει συγκεκριμένες χαρακτηριστικές κορυφές που σχετίζονται με τις χημικές τους δομές. Οι κύριες κορυφές που υποδηλώνουν την παρουσία ελαίων σιλικόνης περιλαμβάνουν:

1. **Δονήσεις Ομάδων Υδροξυλίου (–OH)**: **3397 cm^{-1}**: Χαρακτηριστική για τις υδροξυλικές ομάδες, οι οποίες μπορεί να είναι παρούσες σε ελαία σιλικόνης.
2. **Δονήσεις C–H**: **2960-2870 cm^{-1}**: Σχετίζονται με τις δονήσεις C–H των αλκανίων ή των οργανικών ομάδων που περιέχονται στα έλαια σιλικόνης.
3. **Δονήσεις Si–O**: **1000-1100 cm^{-1}**: Χαρακτηριστική για τις δονήσεις Si–O, οι οποίες είναι σημαντικές για τις σιλικονούχες ενώσεις.
4. **Δονήσεις Si–C**: **800-900 cm^{-1}**: Σχετίζονται με δονήσεις Si–C, που είναι επίσης χαρακτηριστικές των ελαίων σιλικόνης.

Χαρακτηριστικές Κορυφές FTIR για BTEX

Η αναγνώριση των χαρακτηριστικών σημάτων FTIR που υποδηλώνουν την παρουσία BTEX (βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο και αιθυλοβενζόλιο) μπορεί να γίνει με βάση τις γνωστές δονήσεις των αρωματικών ενώσεων. Οι κύριες περιοχές απορρόφησης για τις ενώσεις BTEX είναι οι εξής:

1. **Δονήσεις C–H**: **3030 cm^{-1}** (C–H δονήσεις αρωματικών).
2. **Δονήσεις C=C**: **1500-1600 cm^{-1}** (C=C δονήσεις σε αρωματικές ενώσεις).
3. **Δονήσεις C–H**: **1400-1450 cm^{-1}** (C–H δονήσεις CH22 ή CH33).
4. **Δονήσεις C–C**: **700-900 cm^{-1}** (C–C δονήσεις που σχετίζονται με αρωματικές δομές).

Αχ. Μιχόπουλος ©

Η ανάλυση των παραπάνω κορυφών FTIR μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση της παρουσίας ελαίων σιλικόνης σε δείγματα, καθώς αυτές οι συγκεκριμένες δονήσεις είναι ενδεικτικές της χημικής τους δομής και των ιδιοτήτων τους.

Τα δείγματα 19 έως 25 παρουσιάζουν Χαρακτηριστικές Κορυφές στις συχνότητες που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Κορυφές (σε cm^{-1}) φασμάτων FTIR των δειγμάτων

No 19	No 20	No 21	No 22	No 23	No 24	No 25
3935,16	3505,11	2963,96	3984,94	3431,05	3968,16	3984,89
3887,68	3475,99	2811,00	3130,00	3361,99	3959,25	3939,90
3770,71	3465,42	1716,00	2963,56	3178,03	3942,18	3572,67
3745,92	3456,27	1365,00	2925,44	2964,92	3892,25	3467,37
3690,58	3430,87	1338,00	2854,45	2924,79	3854,67	3436,00
2963,96	2963,51	1261,58	1722,00	2851,80	3430,81	2963,00
2936,71	1370,00	1096,13	1401,19	1740,70	3183,57	2926,00
1629,00	1261,72	1087,17	1261,73	1666,70	2962,09	2879,50
1384.89	1097,38	1067,54	1095,88	1648,00	2926,94	1629,50
1364,00	1021,85	1046,99	1022,31	1444,00	2854,95	1444,50
1121,00	870,00	1029,70	870,00	1261,49	1677,75	1370,50
1100,00	801,29	1023,23	800,36	1401,52	1444,50	1315,00
824,00	703,00	1019,02	722,00	1095,29	1398,00	1259,50
729,00		836,00		1023,11	1315,00	1111,50
540,00		797,73		800,12	1167,00	1056,00
486,00		541,00		707,37	1074,50	889,00
270,00				666,70	889,00	796,50
				420,00	833,50	
					704,00	
					420,00	
	Κορυφές που σχετίζονται με έλαια σιλικόνης					
	Κορυφές που σχετίζονται με υδρογονάνθρακες					
	Κορυφές που σχετίζονται με υδρογονάνθρακες / έλαια σιλικόνης					

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα ευρήματα από την ανάλυση των φασμάτων FTIR στα δείγματα από το πρόγραμμα Τεχνητής Νοημοσύνης:

<u>Πιθανότητα παρουσίας συγκεκριμένων ομάδων υδρογονανθράκων στο δείγμα (%)</u>

Δείγμα	Πιθανότητα παρουσίας ουσιών					Αβεβαιότητα εκτίμησης πιθανότητας παρουσίας				
	BTEX	PAH	B.Y.	X.Y.	E.Σ.	BTEX	PAH	B.Y.	X.Y.	E.Σ.
19	70%	60%	50%	40%	30%	±10%	±15%		±25%	±5%
20	60%	50%	40%	30%	30%	±15%	±20%	±20%	±25%	±10%
21	70%	30%	40%	40%	30%	±15%	±20%	±20%	±25%	±10%
22	60%	30%	30%	40%	40%	±15%	±20%	±20%	±25%	±10%
23	70%	30%	40%	40%	30%	±15%	±20%	±20%	±25%	±10%
24	50%	100%	-	30%	50%	±10%	-	-	±25%	±10%
25	70%	60%	40%	40%	30%	±30%	±60%	±20%	±50%	±20%

BTEX : Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene
PAH : Poly-Aromatic Hydrocarbons
B.Y. : Βαρείς Υδρογονάνθρακες
X.Y. : Χλωριωμένοι Υδρογονάνθρακες
E.Σ. : Έλαια Σιλικόνης
: Ενώσεις με πιθανότητα παρουσίας ≥ 50%

Αχ. Μιχόπουλος ©

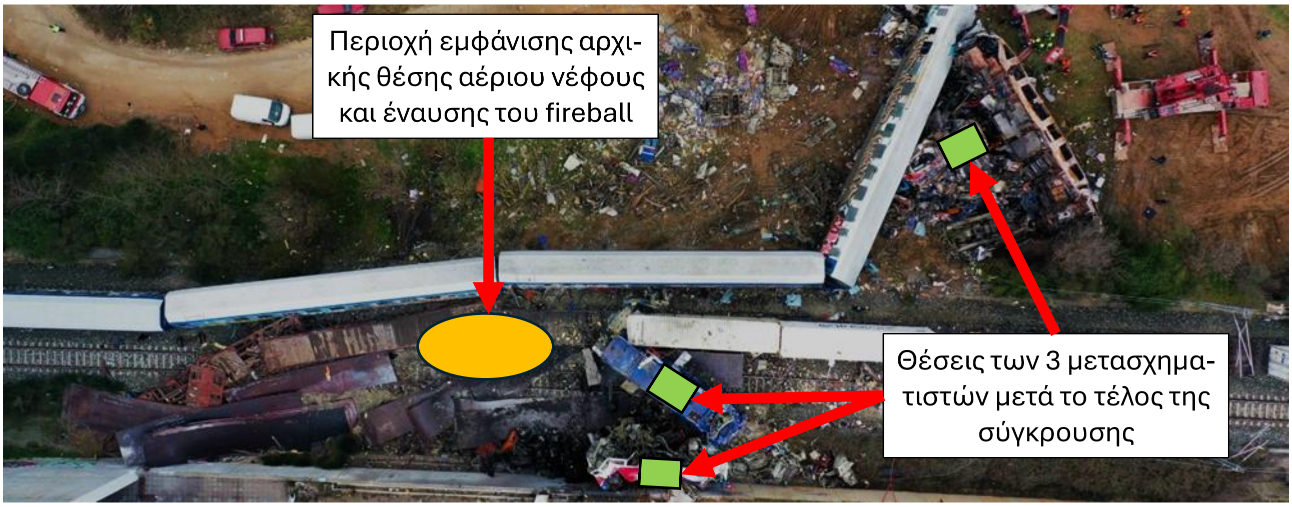
6. Θεωρία πρόκλησης του Fireball από τα Έλαια Σιλικόνης

Καταγραφή θέσεων των Μετασχηματιστών-σημείου εκδήλωσης fireball

Οι θέσεις των 3 μετασχηματιστών μετά το τέλος της σύγκρουσης βρίσκονται σε σημεία τελείως απομακρυσμένα από το σημείο εκδήλωσης του fireball. Οι μετασχηματιστές κατέληξαν στα σημεία αυτά, όπως αυτό προκύπτει από την κινητική ανάλυση, σε χρόνο 1 δευτερολέπτου μετά την αρχική πρόσκρουση (εμπορική) και 2 δευτερολέπτων (επιβατική).

Η ακριβής εξέλιξη της θέσης τους κατά τις φάσεις της σύγκρουσης έχει μικρή σημασία, διότι η χρονική απόσταση μεταξύ της αρχικής και τελικής θέσης είναι πολύ μικρή και στο χρόνο αυτό δεν υπάρχει καμία μετατόπιση της εστίας εκδήλωσης του fireball.

Η θέση εμφάνισης αρχικής θέσης αέριου νέφους και έναυσης του fireball προκύπτει με καλή προσέγγιση από την συνεκτίμηση των εικόνων από τα διαθέσιμα βίντεο και τις αντίστοιχες γωνίες όρασης.



Καταγραφή κατάστασης των Μετασχηματιστών

Στις 27/9/24 έγινε δειγματοληψία ελαίων των μετασχηματιστών και επιτόπιος έλεγχος στον χώρο φύλαξης των συντριμμιών (Κουλούρι). Η γενική εικόνα των μετασχηματιστών είναι, ότι λόγω της θέσης τους στις μηχανές, παραμορφώθηκαν σχετικά λίγο, παρά τη σφοδρότητα της σύγκρουσης.

Είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό το γεγονός ότι η Μηχανή της Επιβατικής διαμελίσθηκε παντελώς μεν, αλλά ο μετασχηματιστής της παρέμεινε στο αρχικό του παραλληλεπίπεδο σχήμα, παρά την μερική συμπίεση στην κάτω του επιφάνεια από πρόσκρουση και ολίσθηση στο έδαφος. Αυτό ερμηνεύεται από το γεγονός ότι η θέση του μετασχηματιστή είναι σε σχετικά «προστατευμένη» θέση στην Μηχανή.

Κανένας από τους 3 μετασχηματιστές δεν έχει ίχνη διόγκωσης λόγω υπερπίεσης στο εσωτερικό του (από εσωτερικό βραχυκύκλωμα και στιγμιαία εξάτμιση των ελαίων). **Όλα τα ρήγματα έχουν προκληθεί από γωνιακή διάτμηση ή ευθεία πρόσκρουση ή ελκυσμό πέρα από το όριο θραύσης του μετάλλου**.

Μετασχηματιστής 120023 (Η/Μ Intercity 62)

Ο μετασχηματιστής είναι ολόκληρος και φέρει ίχνη πρόσκρουσης στο έδαφος με το εμπρός μέρος. Επίσης, έχει εμφανή σημεία παραμόρφωσης (συμπίεσης) στην εμπρός επάνω πλευρά του.

Φέρει 4 σχισίματα ακανόνιστου σχήματος και 1 οπή κατά προσέγγιση ως εξής:

- Σχίσιμο 50cm x 10cm
- Σχίσιμο 30cm x 20cm
- Σχίσιμο 15cm x 2cm
- Σχίσιμο 12cm x 4cm
- Οπή διαμέτρου 4cm
- Σπασμένοι σωλήνες ανακυκλοφορίας ελαίου

Αχ. Μιχόπουλος ©





Σχίσιμο 50cm x 10cm

Τριγωνική σχισμή από μηχανική διάτρηση στην κάτω επιφάνεια, πίσω δεξιά γωνία, 12cm x 4cm: Υπάρχει το ίχνος από αιχμηρή ακμή που διατρέχει την επάνω επιφάνεια και λίγο πριν την ακμή το ίχνος της ολίσθησης γίνεται ρήγμα. **Οι δύο πλευρές του φύλλου εκατέρωθεν του ρήγματος έχουν καμφθεί προς το εσωτερικό του δοχείου, όχι προς τα έξω**. Η τρίτη πλευρά του ρήγματος (δεξιά πλευρά) έχει εξωθηθεί λόγω της πρόσκρουσης προς τα έξω. Εμφανής η **ψαθυρή θραύση**, γεγονός που πιστοποιεί ότι **η θραύση έγινε σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, πριν εκτεθεί το μέταλλο σε ψηλές θερμοκρασίες**.



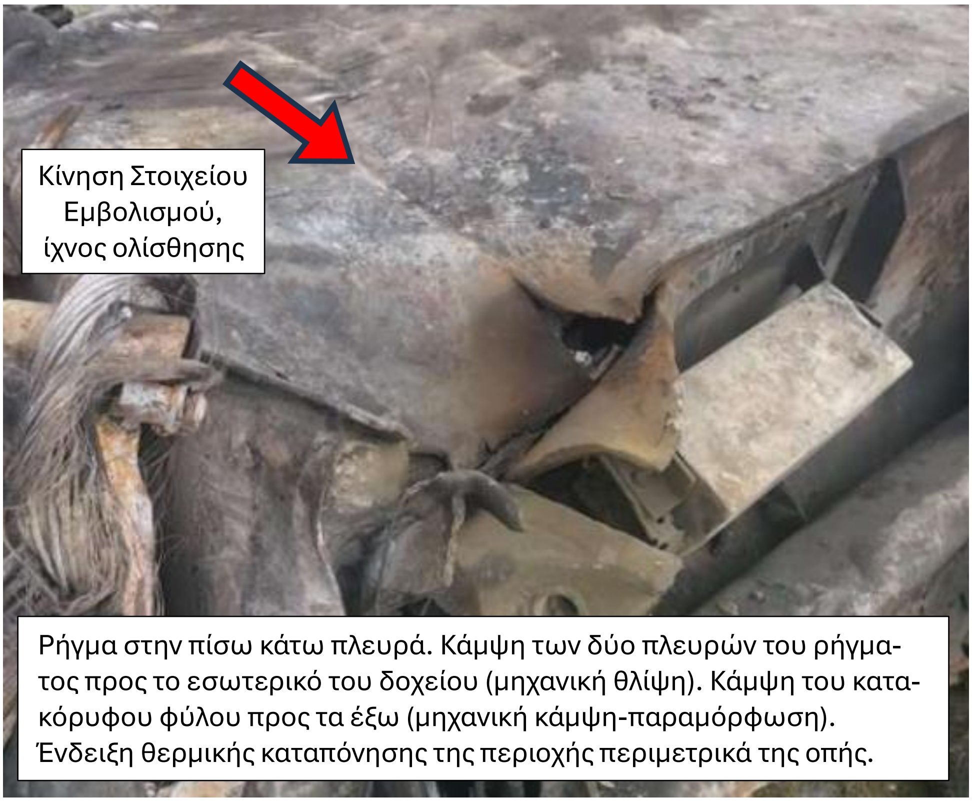


Οι παραμορφώσεις είναι εμφανές ότι έχουν προέλθει **από γωνιακή διάτμηση λόγω πρόσκρουσης και όχι λόγω έκρηξης στο εσωτερικό του μετασχηματιστή**.

Ο μετασχηματιστής έχει προφανώς **εκτεθεί σε έντονη φωτιά μεγάλης διάρκειας (> 30 λεπτών)** με συνέπεια την άνοδο της θερμοκρασίας των ελαίων σιλικόνης και ανάφλεξη τους. Η αλλαγή του χρώματος στην τριγωνική σχισμή το πιστοποιεί. Η τριγωνική σχισμή 12cm x 4cm έχει προκληθεί από εμβολισμό από άγνωστο μεταλλικό αιχμηρό στοιχείο, το οποίο αρχικά αφήνει το ίχνος ολίσθησης πριν διαρρήξει το φύλλο και κάμψει προς τα έξω την κατακόρυφη πλάκα, η οποία συμπαρασύρει το μεταλλικό κουτί.

Αχ. Μιχόπουλος ©

<u>Η όποια ποσότητα ελαίου βγήκε από τη συγκεκριμένη ρωγμή, όπως και από τις υπόλοιπες, βγήκε με τη μορφή πίδακα, και όχι με τη μορφή μικροσταγονιδίων (spray). Για τη δημιουργία σταγονιδίων μικρής διαμέτρου (spray) απαιτείται η παρουσία ακροφύσιου πολύ μικρής διαμέτρου (0.5-1 mm) και η ύπαρξη μέσου διασποράς (αέρα με πολύ μεγάλη ταχύτητα) που διασπείρει το υγρό, προκαλεί τη δημιουργία σταγονιδίων πολύ μικρής διαμέτρου και τα διασπείρει στο περιβάλλον με τη μορφή νέφους.</u>



Όλα τα στοιχεία συνηγορούν στο ότι οι παραμορφώσεις και η ρωγμή είναι καθαρά προϊόντα πρόσκρουσης και <u>ΟΧΙ λόγω έκρηξης στο εσωτερικό του μετασχηματιστή</u>.

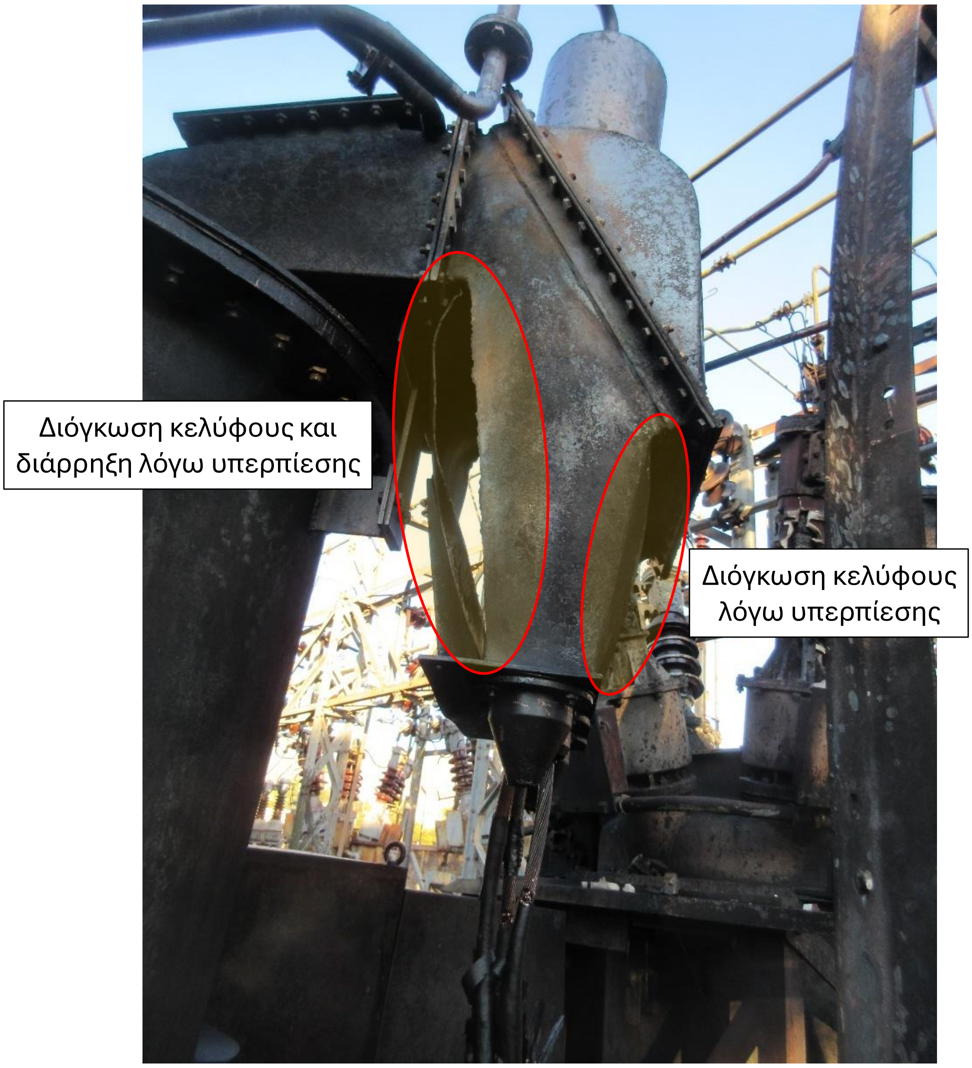
Αν είχε συμβεί έκρηξη λόγω βραχυκυκλώματος στο εσωτερικό του, θα προέκυπτε εμφανής διόγκωση του δοχείου προς όλες τις κατευθύνσεις, κύρτωση των επιφανειών, και εντέλει ρήγματα.



Αχ. Μιχόπουλος ©

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΥΡΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ (ΔΕΗ) ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΗ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μετασχηματιστή δικτύου που έχει υποστεί διάρρηξη του κελύφους μετά από βραχυκύκλωμα στο εσωτερικό του, παραγωγή αερίων, αύξηση της πίεσης και διάρρηξη του κελύφους. Είναι εμφανής η κύρτωση όλων των μεταλλικών πλακών του κελύφους λόγω της υπερπίεσης στο εσωτερικό του.



Αχ. Μιχόπουλος ©

120022 (1η Η/Μ 63503)

Ο μετασχηματιστής είναι ολόκληρος και στο αρχικό του σχήμα, με ελάχιστα ίχνη πρόσκρουσης. Κανένα ίχνος διόγκωσης λόγω έκρηξης στο εσωτερικό του.

Φέρει 1 σχίσιμο τριγωνικού σχήματος, κατά προσέγγιση:

- Σχίσιμο τριγωνικό 22cm x 25cm
- Σπασμένοι σωλήνες ανακυκλοφορίας ελαίου



Τριγωνικό σχίσιμο 22cm x 25cm στην πίσω κάτω πλευρά. Εμφανώς έχει προκληθεί από πρόσκρουση.



Σπασμένοι σωλήνες ανακυκλοφορίας ελαίου.

Εμφανής η ψαθυρή θραύση λόγω τάσεων από πρόσκρουση.

Η ψαθυρή θραύση παραπέμπει σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία του μετάλλου.

Αχ. Μιχόπουλος ©

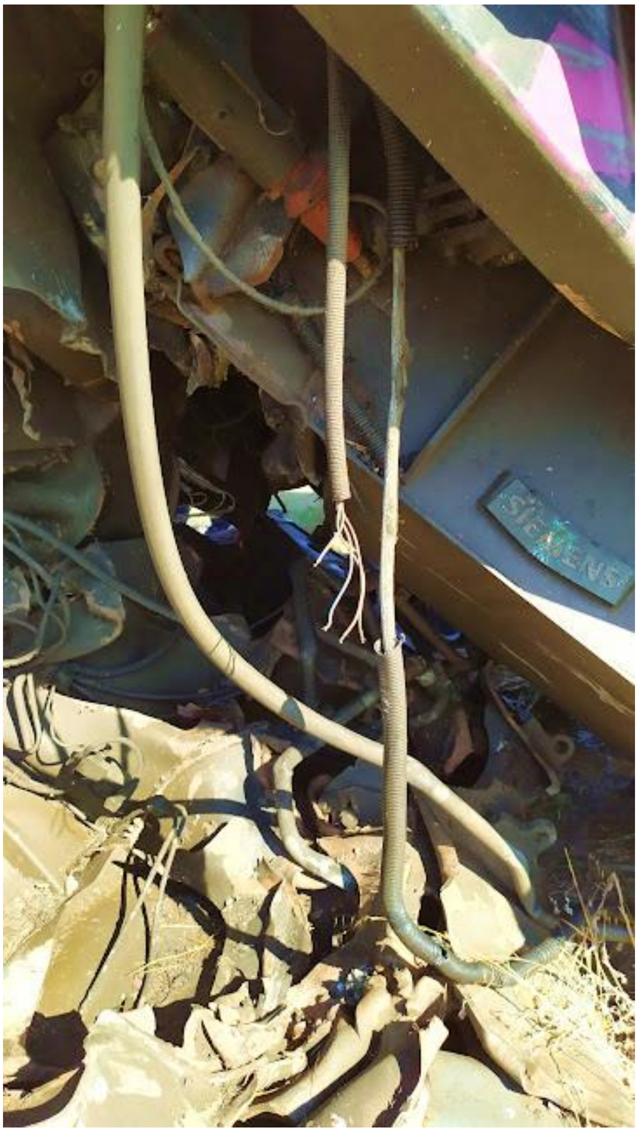








Αχ. Μιχόπουλος ©





120022 (1η Η/Μ 63503)

Σημείο για το οποίο υπάρχει ο ισχυρισμός ότι έκαιγε φωτιά που προκλήθηκε από τα έλαια σιλικόνης:

Σπασμένη η σωλήνα ανακυκλοφορίας του ελαίου.

Τα καλώδια και τα εύκαμπτα πλαστικά τους περιβλήματα (σπιράλ) δεν έχουν αλλοιώσεις, εμφανώς δεν έχουν εκτεθεί σε φωτιά.

Πλήρης απουσία αποθέσεων SiO_2 (λευκής σκόνης) στα εξαρτήματα.

Αχ. Μιχόπουλος ©

120020 (2η Η/Μ 63503)

Ο μετασχηματιστής είναι ολόκληρος και στο αρχικό του σχήμα, με ελάχιστα ίχνη πρόσκρουσης. Κανένα ίχνος διόγκωσης λόγω έκρηξης στο εσωτερικό του.

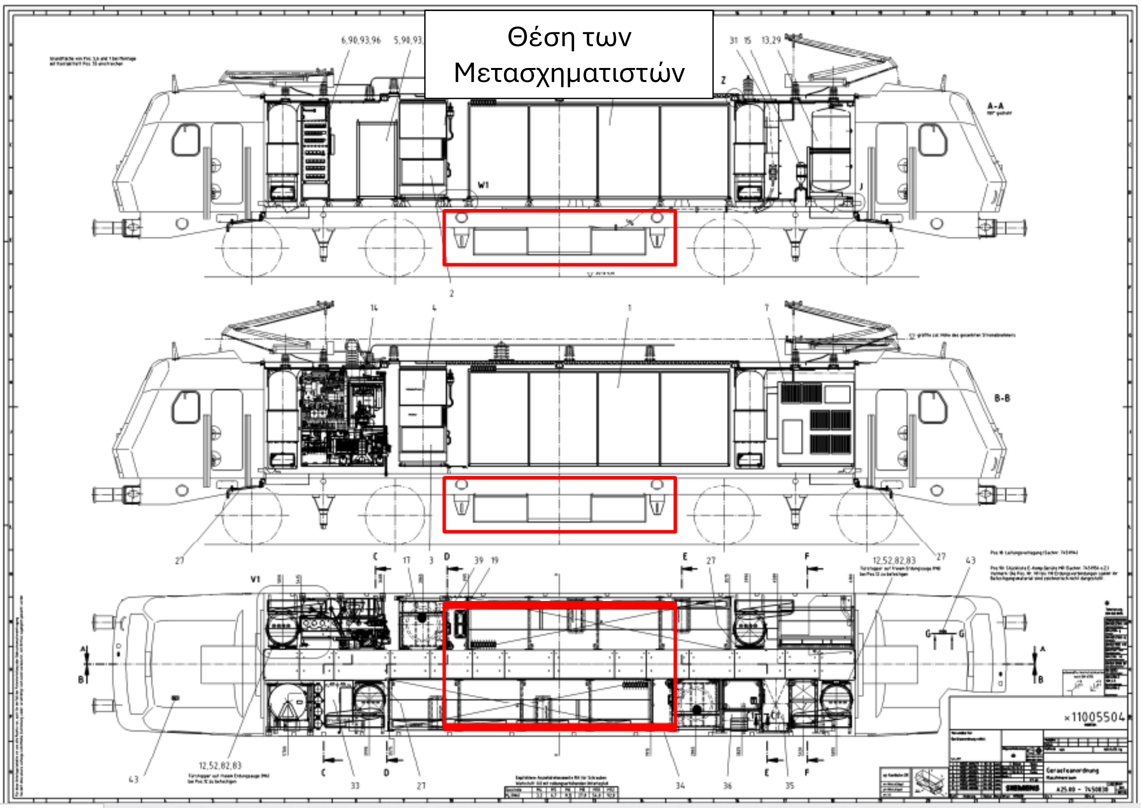
Φέρει 1 οπή και 1 σχίσιμο ακανόνιστου σχήματος, κατά προσέγγιση ως εξής:

- Σχίσιμο 10cm x15cm
- Οπή διαμέτρου 7cm
- Σπασμένοι σωλήνες ανακυκλοφορίας ελαίου





Μετασχηματιστής Μηχανής #2 Εμπορικής.
Κανένα ίχνος διόγκωσης λόγω έκρηξης.
Απόθεση κάπνας στην μία εξωτερική επιφάνεια, λόγω φωτιάς μικρής διάρκειας.
Η εξωτερική βαφή πρακτικά ανεπηρέαστη.
Πλήρης απουσία αποθέσεων SiO_2 στο εξωτερικό κέλυφος.



Αχ. Μιχόπουλος ©

Προδιαγραφές Ελαίων Σιλικόνης Bayer Baysilone® M50 EL

Από το φύλλο προδιαγραφών του κατασκευαστή των ελαίων σιλικόνης φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά αναφλεξιμότητας του ελαίου των μετασχηματιστών (Baysilone® M50 EL). Η κρίσιμη ιδιότητα είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης (flash point) που στην περίπτωση που εξετάζεται είναι 300 °C. Αυτό προϋποθέτει ότι για να προκύψει ανάφλεξη, πρέπει να θερμανθεί όλη η μάζα του ελαίου σε αυτή τη θερμοκρασία, ώστε να προκύψουν ατμοί που αναφλέγονται. Το παραπάνω έχει πιστοποιηθεί και από πειράματα (πόρισμα ΕΔΑΠΟ). Το μέσο Μοριακό βάρος του ελαίου είναι 95000, γεγονός που ερμηνεύει την εν γένει συμπεριφορά του (μη αναφλέξιμο, συντηρεί φλόγα μόνο με υποβοήθηση άλλου εύφλεκτου υλικού).

Pour points, flash points, fire points, ignition points

Baysilone® Fluid M	Pour point °C below DIN 51597	Flash point °C above DIN 51376	Fire point °C above DIN 51376
3	approx. −100	approx. 62	approx. 110
5	approx. −100	approx. 120	approx. 160
10	approx. − 90	approx. 170	approx. 230
20	approx. − 70	approx. 240	approx. 290
50	approx. − 60	approx. 280	approx. 350
*50 EL	approx. − 60	approx. 300	approx. 350
100	approx. − 50	approx. 300	approx. 370
350	approx. − 50	approx. 315	approx. 380
500	approx. − 50	approx. 315	approx. 380
1 000	approx. − 50	approx. 320	approx. 390
5 000	approx. − 50	approx. 320	approx. 390
12 500	approx. − 50	approx. 320	approx. 390
30 000	approx. − 50	approx. 320	approx. 390
60 000	approx. − 50	approx. 320	approx. 390
100 000	approx. − 50	approx. 320	approx. 400
300 000	approx. − 40	approx. 320	approx. 400
1 000 000	approx. − 40	approx. 320	approx. 400

*= dielectric cooling agent for transformers; see "Baysilone M 50 EL" brochure

The ignition temperatures of Baysilone Fluids M are above 400°C. They therefore belong to ignition group G 2.

Density

Baysilone® Fluid M	Density in g · cm⁻³					
	−40°C	0°C	25°C	50°C	100°C	175°C
3	0.97	0.93	0.90	0.88		
5	0.99	0.95	0.92	0.90		
10	1.02	0.97	0.94	0.92		
20	1.02	0.98	0.95	0.93		
50	1.03	0.99	0.96	0.94	0.90	0.84

Ενδεχόμενο πρόκλησης του fireball από τα Έλαια Σιλικόνης

Η θεωρία σύμφωνα με την οποία το fireball προέκυψε από τα έλαια σιλικόνης, βασίζεται στη **υπόθεση** ότι το βραχυκύκλωμα στο εσωτερικό του μετασχηματιστή της Επιβατικής προκάλεσε την έκλυση ενέργειας που απαιτείται για τη στιγμιαία ανύψωση της θερμοκρασίας του ελαίου του μετασχηματιστή της Επιβατικής (για να φτάσει η θερμοκρασία του στο σημείο ανάφλεξης), σε συνδυασμό με την έκλυση του συνόλου της ποσότητας του ελαίου με μορφή πίδακα από την τριγωνική οπή στην επάνω πίσω πλευρά του δοχείου του προς την ατμόσφαιρα και πρόκληση του fireball.

Τα στοιχεία ωστόσο από την αυτοψία (και όχι μόνο) καταρρίπτουν πλήρως αυτή την προσέγγιση:

- Τα καλώδια παροχής ρεύματος προς τις μηχανές καταστρέφονται άμεσα, τη στιγμή της πρόσκρουσης των δύο αμαξοστοιχιών. Την στιγμή που προκύπτει η ρηγμάτωση του δοχείου του μετασχηματιστή δεν υπάρχει παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στον μετασχηματιστή. **Η παροχή ρεύματος έχει διακοπεί (βάσει των εικόνων από τα βίντεο) >0.5 του δευτερόλεπτου πριν την εμφάνιση του fireball.**



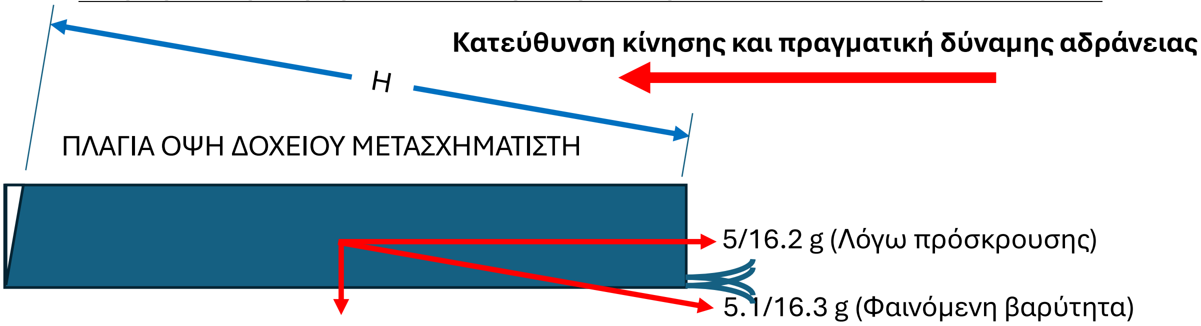
T=0.0s T=0.08s T=0.16s T=0.70s

- Η κάμερα λειτουργεί με 12 καρέ το δευτερόλεπτο. Μεταξύ του 3ου βραχυκυκλώματος και της έναρξης του fireball παρεμβάλλονται 7 διαστήματα, δηλαδή χρόνος ~0.54s.
- Κανένα δοχείο μετασχηματιστή δεν έχει ίχνη διόγκωσης λόγω υπερπίεσης στο εσωτερικό του.
- Όλα τα ρήγματα έχουν προκληθεί από γωνιακή διάτμηση ή ευθεία πρόσκρουση ή ελκυσμό πέρα από το όριο θραύσης του μετάλλου.

Αχ. Μιχόπουλος ©

- Ο μετασχηματιστής 120023 (Η/Μ Intercity 62) έχει εμφανώς εκτεθεί σε φωτιά μεγάλης διάρκειας, έχει σημαντικά αποτυπώματα θερμικής καταπόνησης του μετάλλου γύρω από την τριγωνική σχισμή.
- Η τριγωνική σχισμή 12cm x 4cm έχει προκληθεί από εμβολισμό από άγνωστο μεταλλικό αιχμηρό στοιχείο, το οποίο αρχικά αφήνει το ίχνος ολίσθησης, πριν διαρρήξει το άνω φύλλο **προς το εσωτερικό** και κάμψει προς τα έξω την κατακόρυφη πλάκα. Είναι εμφανής η **κάμψη των δύο πλευρών του ρήγματος προς το εσωτερικό του δοχείου** (μηχανική θλίψη). **Αυτό πιστοποιεί ότι η σχισμή ΔΕΝ είναι αποτέλεσμα πίεσης από το εσωτερικό του δοχείου, αλλά από εμβολισμό**.
- Οι μετασχηματιστές αυτού του τύπου έχουν σύστημα προστασίας από παραγωγή αερίων και υπερπίεση σε περίπτωση αστοχίας του διηλεκτρικού ελαίου σιλικόνης (**Bucholz relay**). **Ενδεχομένως απαιτείται έλεγχος της κατάστασης αυτών των διατάξεων Bucholz στους 3 μετασχηματιστές για να πιστοποιηθεί το ενδεχόμενο ή μη της έκρηξης στο εσωτερικό τους**.
- Έγινε υπολογισμός της παροχής από οπή επιφάνειας 24 cm^2 (της τριγωνικής σχισμής 12cm x 4cm) με φαινόμενη επιτάχυνση 5g (A), 16.2g (B). Σημειωτέον ότι η οπή είναι στην πίσω πλευρά του δοχείου, οπότε τη στιγμή της πρόσκρουσης, **λόγω αδράνειας τα έλαια ωθούνται προς την μπροστινή πλευρά του δοχείου, όχι προς την σχισμή, με μορφή πίδακα και όχι σταγονιδίων**. Παρ' όλα αυτά, **εξετάζεται το ακραίο αντίθετο σενάριο**, ότι δηλαδή για κάποιο λόγο τα έλαια ωθήθηκαν στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που προκύπτει από τη θεώρηση που επιβάλει η επιστήμη. Η παροχή που προκύπτει είναι 0.0116 m^3/s (A), 0.0205 m^3/s (B), δηλαδή, σε χρόνο 10 δευτερολέπτων η ποσότητα που προκύπτει είναι 0.116 m^3 (A), 0.205 m^3 (B), ή **περίπου 110-195 κιλά ελαίου** (ειδικό βάρος 0.95). **Ακόμη και αν η υπόθεση της ανάφλεξης των ελαίων ευσταθούσε, η ποσότητα αυτή είναι εξαιρετικά μικρή για να προκαλέσει fireball μέγιστης διαμέτρου 80 μέτρων και μήκους 160 μέτρων**.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΕΛΑΙΟΥ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΡΕΥΣΕΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΡΩΓΜΗ



Ο τύπος που υπολογίζει την παροχή από οπή σε δοχείο είναι:

$Q = C_d \times A \times \mathrm{sqrt}(2gH)$, Q_T: Συνολική ποσότητα που εκλύεται σε 10 δευτερόλεπτα

$C_d = d \times \mathrm{sqrt}(gH)/v$

Όπου	A: Η επιφάνεια της οπής	24 cm^2
	g: Η φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας (A)	5.1 x 9.81 m/sec^2 = 50 m/sec^2
	g: Η φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας (B)	16.2 x 9.81 m/sec^2 = 159 m/sec^2
	H: Το ύψος της στάθμης του υγρού	2 m (στην κατεύθυνση του φαινόμενου g)
	d: Η μέση ισοδύναμη διάμετρος της οπής	55 mm
	v: Το κινηματικό ιξώδες του υγρού	0.7 mm^2 /sec (από φύλλο προδιαγραφών)
	T: Συνολικός χρόνος	10 s

Αποτελέσματα υπολογισμών:

C_d = 0.78		
Q_A = 0.0116 m^3/sec	**Q_{TA} = 0.116 m^3 (10 sec)**	**Q_{TA} = 110 kg**
Q_B = 0.0205 m^3/sec	**Q_{TB} = 0.205 m^3 (10 sec)**	**Q_{TB} = 195 kg**

Αν τα έλαια ήταν αναφλέξιμα, θα έδιναν ένα σφαιρικό fireball διαμέτρου 28 m (A), 33 m (B) και διάρκειας 2.15 s (A) και 2.75 s (B). Είναι προφανές ότι η υπόθεση αρχικής ανάφλεξης των ελαίων και πρόκλησης fireball δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή για πάρα πολλούς λόγους που αναπτύχθηκαν.

Μια πρόσθετη εκδοχή η οποία εξετάστηκε στην πορεία των ερευνών, ήταν η πιθανή πρόκληση του fireball από ποσότητες των ενώσεων D3, D4, D5 που ενδεχομένως είναι παρούσες σε μεγάλες ποσότητες στα έλαια των μετασχηματιστών. Οι ενώσεις αυτές (με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες ανάφλεξης) είναι:

- Εξαμέθυλοκυκλοτρισιλοξάνιο - Hexamethylcyclotrisiloxane (D3)
- Οκταμεθυλοκυκλοτρισιλοξάνιο - Octamethylcyclotetrasiloxane (D4)
- Δεκαμεθυλοκυκλοπεντασιλοξάνιο - Decamethylcyclopentasiloxane (D5)

Σημείο ανάφλεξης/αυτανάφλεξης (πηγή ECHA)

Παράμετρος	**D3**	**D4**	**D5**
Σημείο ανάφλεξης, °C	28-35	61	28-35
Σημείο Αυτανάφλεξης, °C	386	384	386

Οι παραπάνω ενώσεις, βάσει των στοιχείων των κατασκευαστών, μπορεί να υπάρχουν στα έλαια σιλικόνης σε συγκεντρώσεις 100-500 ppm και η παρουσία τους υποβοηθά τα χαρακτηριστικά των ελαίων. Εμφανίζονται σαν υπολειμματικές ποσότητες του πολυμερισμού, ή σαν προϊόντα θερμικής διάσπασης του ελαίου. Ωστόσο, βάσει των βιβλιογραφικών δεδομένων, σε περίπτωση θερμικής διάσπασης των ελαίων, η εικόνα τους αλλοιώνεται εμφανώς, και γίνεται σταδιακά (ανάλογα με το βαθμό θερμικής καταπόνησης) υποκίτρινα ως καφέ, ενώ **η αρχική εικόνα είναι τελείως διαφανές και άχρωμο υλικό**.

Οι αναλύσεις για τον ποσοτικό προσδιορισμό των παραπάνω ενώσεων έγιναν σε 2 από τα 4 δείγματα ελαίου σιλικόνης που πάρθηκαν από τους μετασχηματιστές στις 27/9/24:

Δείγμα 1: Περίπου 600 ml, silicone oil (τελείως διαφανές, άχρωμο και καθαρό, χωρίς ίχνη θερμικής καταπόνησης και διάσπασης)

Δείγμα 2: Περίπου 600 ml, silicone oil (τελείως διαφανές, άχρωμο και καθαρό, χωρίς ίχνη θερμικής καταπόνησης και διάσπασης)

Δείγμα 3: Περίπου 400 ml, υποκίτρινο υγρό, κατά πάσα πιθανότητα νερό

Δείγμα 4: Λιγότερο από 10 ml μίγμα υγρού και στερεών.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδωσαν:

Αριθμός δείγματος	**D3**	**D4**	**D5**
ΔΕΙΓΜΑ 1-Α	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	138,6 mg/Kg
ΔΕΙΓΜΑ 1-Β	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	138,5 mg/Kg
ΔΕΙΓΜΑ 2-Α	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	3,0 mg/Kg
ΔΕΙΓΜΑ 2-Β	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	2,9 mg/Kg
ΔΕΙΓΜΑ 3-Α	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]
ΔΕΙΓΜΑ 3-Β	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]
ΔΕΙΓΜΑ 4-Α	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]
ΔΕΙΓΜΑ 4-Β	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]	< 2mg/Kg[1]

[1] Όριο αναφοράς (συγκέντρωση στο δείγμα που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση του χαμηλότερου προτύπου βαθμονόμησης)
Σημείωση: 1 mg/Kg = 0,001 %

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι οι ποσότητες των ουσιών αυτών είναι αμελητέες, οπότε το σενάριο απόδοσης της δημιουργίας fireball από υπολειμματικές ποσότητες δεν μπορεί να ευσταθεί.

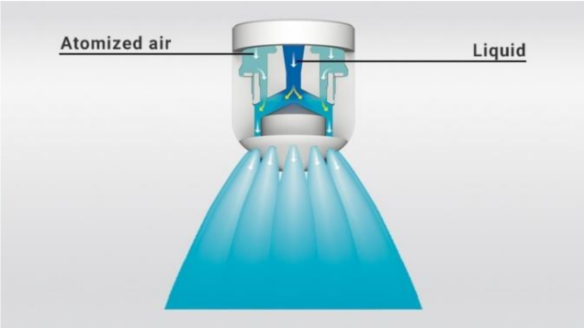
Εκτός από τις παραπάνω αναλύσεις, έγινε και πειραματικός προσδιορισμός του σημείου ανάφλεξης (flash point) των δειγμάτων ελαίων. Τα αποτελέσματα των δύο δειγμάτων ήταν 288 και 290 °C, με προδιαγραφή κατασκευαστή 300 °C, δηλαδή ουσιαστικά **επιβεβαιώθηκε ότι τα έλαια δεν μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνα για τη δημιουργία του fireball**.

Αχ. Μιχόπουλος ©

Θεωρία παραγωγής νέφους μικροσταγονιδίων ελαίων σιλικόνης και ανάφλεξής τους

Η θεωρία της παραγωγής νέφους μικροσταγονιδίων ελαίου, τα οποία λόγω μικρής μέσης διαμέτρου "θα μπορούσαν να αναφλεγούν" έχει τις εξής αδυναμίες που εντέχνως αποκρύπτονται:

- Για να προκύψει τέτοιο νέφος χρειάζεται ειδικό ακροφύσιο διπλής παροχής αέρα/ελαίου πολύ μικρής διαμέτρου οπής παροχής υγρού (1.5-1.0 mm)
- Για να προκύψει τέτοιο νέφος χρειάζεται μέσο διασποράς (αέρας) που διοχετεύεται στη δεύτερη οπή το ακροφυσίου, με μεγάλες ταχύτητες εξόδου, ώστε να προκαλεί τον διαμελισμό του υγρού σε σταγονίδια διαμέτρου μερικών εκατοστών του χιλιοστού, που σχηματίζουν νέφος.
- Οι σχισμές στα δοχεία των μετασχηματιστών έχουν επιφάνεια μέσω της οποίας προέκυψε η ενδεχόμενη ροή με τη μορφή πίδακα (αν συνέτρεχαν οι προϋποθέσεις με την εξάσκηση των απαιτούμενων πιέσεων). Η όποια ροή προέκυψε έγινε με τη μορφή πίδακα, οπότε δεν έγινε εξάχνωση, ή διασπορά ώστε να προκύψει νέφος.
- Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια τυπική διάταξη παραγωγής νέφους σταγονιδίων σε ειδικού τύπου ομοκεντρικού ακροφυσίου, όπου γίνεται η ταυτόχρονη παροχή υγρού και αέρα. Η κατάτμηση του υγρού σε μικροσταγονίδια επιτυγχάνεται αποκλειστικά σε διατάξεις αυτού του τύπου.



- Στα πλαίσια αυτής της λογικής ανάφλεξης σταγονιδίων ελαίων κινείται το πόρισμα της Hellenic Train (Yves Carton). **Ο ισχυρισμός ότι το καλώδιο παροχής, από σύμπτωση, έπεσε επάνω στον μετασχηματιστή της Επιβατικής και από το τόξο που προκλήθηκε λόγω της επαφής προέκυψε ανάφλεξη είναι τελείως αβάσιμο.**
    - Πρώτον, **η ηλεκτρική παροχή έχει διακοπεί πολύ πριν εμφανιστεί το fireball**
    - Δεύτερο, αν είχε υπάρξει τέτοιου τύπου βραχυκύκλωμα **θα ήταν εμφανές το αποτύπωμα του στο κέλυφος του μετασχηματιστή.** Το καλώδιο ενδεχομένως έπεσε τελείως συμπτωματικά επάνω στον μετασχηματιστή και δεν προκάλεσε κανενός είδους επιπρόσθετο φαινόμενο.



Κανένα ίχνος ηλεκτρικού τόξου (μαυρισμένη περιοχή, ή τήξη) στο κέλυφος του μετασχηματιστή.

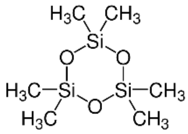
Η φωτογραφία από το πόρισμα της Hellenic Train.

Αχ. Μιχόπουλος ©

Προϊόντα καύσης ελαίων σιλικόνης – Παρουσία SiO_2

Η καύση των ελαίων σιλικόνης παράγει μεγάλες ποσότητες οξειδίου του πυριτίου (SiO_2), διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Βάσει της στοιχειομετρικής αντίδρασης καύσης για τα τρία συστατικά (D3, D4, D5), οι αντιδράσεις καύσης δίνουν:

- Εξαμέθυλοκυκλοτρισιλοξάνιο - Hexamethylcyclotrisiloxane (D3)



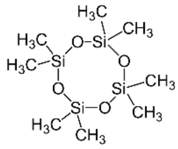
  Τύπος: $[(CH_3)_2SiO]_3$

  Μοριακό βάρος: 222.5

  Ένα μόριο D3 παράγει 3 μόρια SiO_2 (3x60=180 g)

  Αναλογία SiO_2/D3=180/222.5=80.89%

- Οκταμεθυλοκυκλοτρισιλοξάνιο - Octamethylcyclotetrasiloxane (D4)



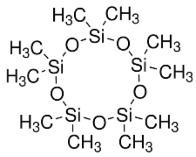
  Τύπος: $[(CH_3)_2SiO]_4$

  Μοριακό βάρος: 296.6

  Ένα μόριο D4 παράγει 4 μόρια SiO_2 (4x60=240 g)

  Αναλογία SiO_2/D4=240/296.6=80.92%

- Δεκαμεθυλοκυκλοπεντασιλοξάνιο - Decamethylcyclopentasiloxane (D5)



  Τύπος: $[(CH_3)_2SiO]_5$

  Μοριακό βάρος: 370.8

  Ένα μόριο D5 παράγει 5 μόρια SiO_2 (5x60=300 g)

  Αναλογία SiO_2/D5=300/370.8=80.90%

Συμπέρασμα: Αναλογία βάρους παραγόμενου SiO_2 / βάρος ελαίου σιλικόνης = 809 / 1000

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι:

- Η καύση 2400 κιλών ελαίου σιλικόνης παράγει 1940 κιλά λευκής λεπτόκοκκης σκόνης SiO_2 (άμμου).
- Η καύση 7200 κιλών ελαίου σιλικόνης παράγει 5825 κιλά λευκής λεπτόκοκκης σκόνης SiO_2 (άμμου).

Τέτοιες ποσότητα άμμου θα είχαν εντοπιστεί στην περιοχή, κάτι που δεν αναφέρεται σε κανένα σχετικό έγγραφο, ούτε της Πυροσβεστικής, ούτε του Γ.Χ.Κ., ούτε εμφανίζεται κάτι παρόμοιο στις εκατοντάδες φωτογραφίες που πάρθηκαν από το μέρος του δυστυχήματος τις επόμενες ώρες ή ημέρες.

Επιπρόσθετα, και σε πλήρη αντίστιξη αυτής της θεωρίας περί καύσης των ελαίων, εντοπίστηκαν μεγάλες ποσότητες ελαίων σε κοιλότητες, οι οποίες απομακρύνθηκαν με τη χρήση στουπιών που πετάχτηκαν στα σκουπίδια, σύμφωνα με εσωτερικό έγγραφο του ΟΣΕ.

Στις φωτογραφίες ο ανεξάρτητος ερευνητής Κ. Σαμαράς σε επιτόπια επίσκεψη στα πλαίσια έρευνας, κάνει δειγματοληψία λίγες ημέρες μετά το συμβάν σε παρακείμενο χαντάκι.





Αχ. Μιχόπουλος ©

7. Δεδομένα εύφλεκτων και μη οργανικών ενώσεων

Στην ανάλυση που ακολουθεί θεωρείται ότι το φορτίο υγρών υδρογονανθράκων (βενζολίου, τολουολίου, ξυλολίου ή κάποιου άγνωστου μίγματος), ήταν στην Εμπορική αμαξοστοιχία. Έχει εν τέλει μικρή σημασία ποια ουσία ήταν, δεδομένου ότι η συμπεριφορά τους και τα δεδομένα αναφλεξιμότητας/εκρηκτικότητας είναι παρόμοια.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΥΦΛΕΚΤΩΝ (ΚΑΙ ΜΗ) ΕΝΩΣΕΩΝ - ΑΝΑΦΛΕΞΙΜΟΤΗΤΑ

	CAS #	RON	LEL	UEL	Θερμοκρασία			Ειδικό Βάρος
					Ανάφλεξης	Αυτανάφλεξης	Βρασμού	
Pentane	109-66-0	61.8	1.4%	8.0%	-40 °C	260 °C	36.1 °C	623 Kg/m^3
Hexane	110-54-3	25	1.2%	7.3%	-18 °C	290 °C	66.0 °C	672 Kg/m^3
Heptane	142-82-5	0	1.05%	6.7%	-4 °C	223 °C	98.4 °C	679 Kg/m^3
Benzene	71-43-2	101	1.2%	7.8%	-11 °C	498 °C	80.0 °C	876 Kg/m^3
Toluene	108-88-3	120	1.1%	7.1%	4 °C	535 °C	110.6 °C	867 Kg/m^3
Ethylbenzene	100-41-4	112	1.0%	6.7%	22 °C	430 °C	136.1 °C	870 Kg/m^3
o-Xylene	95-47-6	113	0.9%	6.7%	32 °C	463 °C	144.4 °C	876 Kg/m^3
m-Xylene	108-38-3	117.5	1.1%	7.0%	27 °C	527 °C	139.3 °C	860 Kg/m^3
p-Xylene	106-42-3	116.4	1.1%	7.0%	27 °C	464 °C	138.4 °C	861 Kg/m^3
Xylenes	1330-20-7	116	1.9%	12.3%	27 °C	500 °C	139-141 °C	870 Kg/m^3
Light Aromatic Naphtha	64742-95-6	-	1.4%	7.6%	41 °C	280-470 °C	135-210 °C	620-880 Kg/m^3
Light Naphtha	8030-30-6	56	1.1%	5.9%	-24.7 °C	225 °C	30-90 °C	740 Kg/m^3
Gasoline	8006-61-9	95	1.4%	7.6%	-43 °C	260 °C	35-200 °C	743 Kg/m^3
Έλαιο Σιλικόνης	63148-62-9	-	-	-	>300 °C	-	-	-

<u>Επισημάνσεις:</u>

1. Ο όρος **RON** αναφέρεται στον **αριθμό οκτανίων μιας εύφλεκτης ουσίας**. Αφορά τις ουσίες που χρησιμοποιούνται σαν βελτιωτικά του αριθμού οκτανίων των βενζινών. **Παράδειγμα**: Αν αναμειχθεί 0.8 του λίτρου βενζίνης 95 οκτανίων και 0.2 του λίτρου τολουολίου (120 οκτανίων) προκύπτει 1 λίτρο βενζίνης 100 οκτανίων.
2. Οι όροι **LEL**, **UEL** είναι το **κάτω και άνω όριο** σύστασης **εκρηκτικού μίγματος** της ουσίας.
3. Ο όρος **Θερμοκρασία Ανάφλεξης** αναφέρεται στην **χαμηλότερη θερμοκρασία** των **ατμών** που βρίσκονται επάνω από **εύφλεκτο υγρό** και **αναφλέγονται** αν υπάρξει φλόγα ή σπινθήρας.
4. Ο όρος **Θερμοκρασία Αυτανάφλεξης** αναφέρεται στη θερμοκρασία στην οποία **οι ατμοί μιας εύφλεκτης ουσίας αναφλέγονται χωρίς την παρουσία θερμής πηγής** (φλόγας ή σπινθήρα).
5. Με την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου ("διύλιση") προκύπτουν στα διυλιστήρια (παγκοσμίως) κάποια μίγματα με συστάσεις που εξαρτώνται από τον τύπο του αργού πετρελαίου και το σημείο απόληψης του μίγματος αυτού. Αυτά τα μίγματα χαρακτηρίζονται με τον όρο "νάφθα", και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους μπορεί να έχουν την ονομασία "Ελαφριά Νάφθα" (Light Naphtha), "Ελαφριά Αρωματική Νάφθα" (Light Aromatic Naphtha), "Βαριά Νάφθα" (Heavy Naphtha). Τα μίγματα αυτά έχουν κατά κανόνα μικρή προστιθέμενη αξία και τιμή πώλησης. Η πώληση τους είναι ασύμφορη, οπότε κατά κανόνα ανατροφοδοτούν μονάδες των διυλιστηρίων για αναμόρφωση τους και παραγωγή προϊόντων με μεγάλη προστιθέμενη αξία (π.χ. βενζίνη).
6. Έχουν υπάρξει τουλάχιστον 2 περιστατικά με εκρήξεις μετασχηματιστών Βιομηχανικής Κλίμακας, λόγω ηλεκτρολογικού προβλήματος (βραχυκυκλώματος), στις οποίες τα λάδια σιλικόνης χύθηκαν στο έδαφος χωρίς να προκαλέσουν κανένα άλλο πρόβλημα σαν το fireball του ατυχήματος των Τεμπών. Το ένα εκ των δύο συνέβη στο Εργοστάσιο ΚΣ/Χ στις εγκαταστάσεις των ΕΛΠΕ, Θεσσαλονίκη (2003), σε απόσταση 80 μέτρων από το γραφείο του υπογράφοντος. Η ποσότητα των ελαίων (14 τόνοι) απλώς δημιούργησαν μια λίμνη βάθους 40 εκατοστών μέσα στην λεκάνη περιμετρικά του μετασχηματιστή. Το δεύτερο περιστατικό έγινε σε εγκαταστάσεις της ΔΕΗ, Εύοσμος, πλησίον Εξωτερικής Περιφερειακής (2001), στο οποίο επίσης δεν υπήρξε κάποιο συμβάν παρόμοιο με το ατύχημα των Τεμπών.

Αχ. Μιχόπουλος ©

8. Συμπεράσματα από τη μελέτη των δεδομένων αναφλεξιμότητας

1. Από την παράθεση και μελέτη των δεδομένων αναφλεξιμότητας των ουσιών του πίνακα, φαίνεται ξεκάθαρα ότι το έλαιο ψύξης των μετασχηματιστών των μηχανών είναι απολύτως αδύνατο να έχει προκαλέσει τα fireballs που περιγράφονται στην συνέχεια και τη πυρκαγιά που ακολούθησε, με συνέπεια την απανθράκωση των Θυμάτων της Επιβατικής αμαξοστοιχίας.
2. Στις βάσεις δεδομένων των διάφορων υπολογιστικών πακέτων (software) που είναι διεθνώς διαθέσιμα και αποδεκτά για την εκτίμηση των συνεπειών από φωτιά ή έκρηξη εύφλεκτων ουσιών βρίσκεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός εύφλεκτων ουσιών. Από την έρευνα που έγινε, σε καμία από αυτές τις βάσεις δεδομένων δεν συμπεριλαμβάνεται κάποια ουσία παρόμοιας δομής και ιδιοτήτων με τα έλαια αυτά.
3. Εξετάστηκε το υποθετικό σενάριο ανάφλεξης των ελαίων σιλικόνης λόγω έκθεσης σε σπινθήρα από βραχυκύκλωμα μέσα σε μετασχηματιστή. Το σενάριο αποκλείστηκε λόγω έλλειψης παροχής ρεύματος αμέσως μετά την πρόσκρουση. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα είχε πρώτα προκληθεί <u>διόγκωση και στη συνέχεια ρήξη του δοχείου του μετασχηματιστή</u>. Επιπρόσθετα, οι υπολογισμοί της ποσότητας ελαίου που διέρρευσε στα πρώτα 10 δευτερόλεπτα από οπή που προκλήθηκε από πρόσκρουση ήταν 110-195 κιλά, ποσότητα πολύ μικρή για να προκαλέσει fireball τέτοιων διαστάσεων.
4. Το υποθετικό σενάριο ανάφλεξης των προϊόντων αποδόμησης των ελαίων σιλικόνης λόγω έκθεσης σε ψηλές θερμοκρασίες αποκλείστηκε, από τα στοιχεία που προέκυψαν από τις αναλύσεις που έγιναν σε δείγματα των ηλεκτρομηχανών στο ΓΧΚ. Οι αναλύσεις αυτές έδωσαν συγκεντρώσεις πολύ χαμηλότερες των προδιαγραφών των κατασκευαστών. Στα πλαίσια των πειραμάτων αυτών επιβεβαιώθηκε ότι το σημείο ανάφλεξης των ελαίων είναι 288/290 °C, πολύ κοντά στις τιμές που ορίζουν οι προδιαγραφές (300 °C).
5. Με δεδομένες τις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ. που εντοπίζουν πλήθος οργανικών ενώσεων στα δείγματα χώματος, σε συνδυασμό με τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν τη στιγμή του συμβάντος και τις Θερμοκρασίες Ανάφλεξης που αναφέρονται στον πίνακα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υλικό που δημιούργησε το νέφος και ανεφλέγη δημιουργώντας το fireball ήταν μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων που περιείχε βενζόλιο σε μεγάλη συγκέντρωση (Θερμοκρασία Ανάφλεξης -11 °C) και τολουόλιο (Θερμοκρασία Ανάφλεξης 4 °C). Έτσι ερμηνεύεται η άμεση ανάφλεξη του νέφους με τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούσαν.
6. Η παρουσία και ξυλολίων στα δείγματα χώματος είναι δεδομένη, οπότε προκύπτει το συμπέρασμα ότι το εν λόγω υγρό ήταν μίγμα τουλάχιστον αρωματικών υδρογονανθράκων. Ωστόσο, η Θερμοκρασία Ανάφλεξης των 3 ισομερών του ξυλολίου είναι 27-32 °C, άρα η ανάφλεξη των ξυλολίων στις επικρατούσες θερμοκρασίες θα ήταν απίθανη. Τα ξυλόλια αναφλέγηκαν δευτερογενώς, υποβοηθούμενα από την ανάφλεξη του βενζολίου και τολουολίου.
7. Άγνωστη ποσότητα του ελαίου σιλικόνης ενδεχομένως θερμάνθηκε σε θερμοκρασία >350 °C και ανεφλέγη, επιτείνοντας τις καταστροφικές συνέπειες της φωτιάς.

Αχ. Μιχόπουλος ©

9. Βιβλιογραφικά δεδομένα για VCE (Vapor Cloud Explosion), TNO Yellow Book, 2005

Σε παγκόσμιο επίπεδο οι οργανισμοί που θεωρούνται ηγέτες στην έρευνα στο πεδίο των ΒΑΜΕ και την αποτίμηση των συνεπειών τους είναι οι: TON, (Ολλανδία), DNV (Νορβηγία) και HSE (Ηνωμένο Βασίλειο).

Η εκτεταμένη βιβλιογραφία από τους οργανισμούς αυτούς αξιοποιείται στην παρούσα μελέτη.

Όλα τα VCEs προκύπτουν από την ανάφλεξη (ignition) ενός εύφλεκτου (flammable) νέφους που σχηματίστηκε λόγω απελευθέρωσης (release) μεγάλης ποσότητας εύφλεκτου υγρού που αεριοποιείται ή αερίου από ένα δοχείο αποθήκευσης, ή δοχείο μεταφοράς, ή γραμμή μεταφοράς (pipeline). Ωστόσο, δεν προκύπτει πάντα VCE. Εν γένει, πρέπει να ικανοποιούνται διάφορες συνθήκες για να προκύψει VCE με αξιόλογη αύξηση της πίεσης και συνεπακόλουθες καταστροφικές συνέπειες.

<u>**Πρώτον**</u>, το υλικό που απελευθερώθηκε πρέπει να είναι εύφλεκτο και σε ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Παραδείγματα είναι τα υγραέρια (προπάνιο, βουτάνιο), συνηθισμένα εύφλεκτα υγρά σε υψηλή θερμοκρασία ή/και πίεση (κυκλοεξάνιο, νάφθα) και μη υγροποιημένα αέρια (μεθάνιο, αιθάνιο, ακετυλένιο).

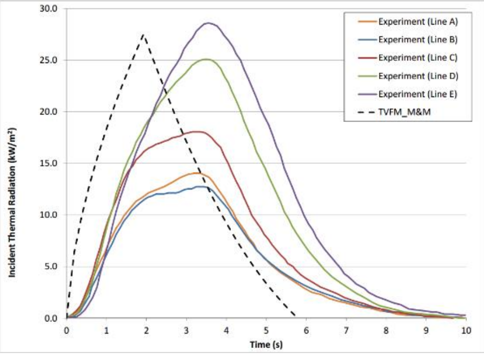
<u>**Δεύτερον**</u>, πρέπει να δημιουργηθεί νέφος πριν την ανάφλεξη, φάση διασποράς (dispersion phase). Αν υπάρξει σπινθήρας αμέσως μετά την έναρξη της διαρροής, θα προκύψει φλόγα (flare) που θα προκαλέσει περιορισμένης έκτασης ζημίες λόγω θερμικής ακτινοβολίας. Ωστόσο, δεν είναι πιθανό να προκύψουν εκτεταμένες ζημίες λόγω υπερπίεσης (blast pressures). Αν το νέφος έχει τη δυνατότητα να σχηματιστεί σε χρονικό ορίζοντα και στη συνέχεια αναφλεγεί, οι υπερπιέσεις που διακινούνται από το κέντρο του νέφους προς την περιφέρεια μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές σε ευρύτερη περιοχή.

<u>**Τρίτον**</u>, ένα τμήμα του νέφους πρέπει να έχει σύσταση μέσα στα όρια αναφλεξιμότητας (LEL, UEL) του υλικού. Ένα νέφος έχει φυσιολογικά τρεις περιοχές από πλευράς σύστασης, <u>**η πλούσια περιοχή**</u>, κοντά στο σημείο της διαρροής (συγκέντρωση υλικού μεγαλύτερη από το UEL), <u>**η πτωχή περιοχή**</u>, στην εξωτερική περίμετρο του νέφους (συγκέντρωση υλικού μικρότερη από το LEL), και <u>**η ενδιάμεση, αναφλέξιμη περιοχή**</u>. Το ποσοστό κατανομής του νέφους στις τρεις περιοχές είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, όπως ο τύπος και η ποσότητα του υλικού, πίεση τη στιγμή της διαρροής, μέγεθος της οπής στο δοχείο, βαθμός περιορισμού (confinement) του νέφους, ταχύτητα ανέμου, υγρασία.

Τέταρτον, οι επιπτώσεις της έκρηξης (blast effects) που προκύπτουν από ένα VCE καθορίζονται από την ταχύτητα του μετώπου της φλόγας (speed of flame propagation). Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του μετώπου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η υπερπίεση στο νέφος, που αυξάνει τις επιπτώσεις (blast effects) του νέφους. Αυτό καταδεικνύει ότι ο μηχανισμός της εξάπλωσης της φλόγας (mode of flame propagation) είναι εξαιρετικά σημαντικός. <u>**Κατά κανόνα, ο μηχανισμός αυτός είναι απλή ανάφλεξη (deflagration, ταχύτητες <340 m/s).**</u> Κάτω από εξαιρετικές συνθήκες, μπορεί να προκληθεί <u>**έκρηξη (detonation, ταχύτητες >340 m/s).**</u>

Ο ρυθμός της καύσης και η συνεπαγόμενη ακτινοβολία αρχικά αυξάνονται ραγδαία, φτάνουν στη μέγιστη τιμή και μετά μειώνονται με σχετικά αργό ρυθμό.

Ενδεικτικά το διάγραμμα από σχετικά πειράματα (DNV) δίνει την θερμική ακτινοβολία (ουσιαστικά και το ρυθμό αντίδρασης) στις διάφορες χρονικές στιγμές του φαινομένου, από πειράματα που έγιναν:



Επισημαίνεται ότι όλα τα μαθηματικά μοντέλα στους σχετικούς προσομοιωτές που χρησιμοποιούνται για να γίνει εκτίμηση των επιπτώσεων έκρηξης και ανάφλεξης αερίου νέφους, θεωρούν ότι η απελευθέρωση του υλικού γίνεται στιγμιαία.

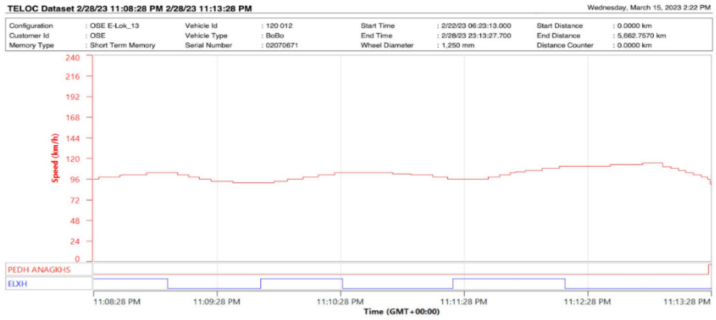
Η μορφή της καμπύλης που περιγράφει την συνολική ένταση της ακτινοβολίας, προκύπτει από τον συνδυασμό του ρυθμού της αντίδρασης καύσης και της συνολικής επιφάνειας του εξωτερικού κελύφους του fireball.

Αχ. Μιχόπουλος ©

10. Η Χρονοσειρά της σύγκρουσης και δημιουργίας του Fireball

Η ακολουθία των επί μέρους συμβάντων της σύγκρουσης που εκτιμάται από τις φωτογραφίες που δημοσιεύτηκαν δίνεται στη συνέχεια:

1. Οι Μηχανοδηγοί της Εμπορικής αμαξοστοιχίας, έχοντας οπτικό πεδίο που τους επέτρεπε να δουν την Επιβατική να βγαίνει από το τούνελ, προσπάθησαν να μειώσουν την ταχύτητα τους στο μέγιστο δυνατόν. Σαν συνέπεια, η ταχύτητα της Εμπορικής μειώνεται από 100 σε 89.9 Km/h το τελευταίο δευτερόλεπτο πριν το συμβάν.



2. Γίνεται μετωπική σύγκρουση των συρμών. Η $1^{η}$ Μηχανή της Εμπορικής ανασηκώνεται και εκτρέπεται αριστερά κατά την κίνηση της. Γίνονται 3 βραχυκυκλώματα και διακοπή ηλεκτρικής παροχής. Η $2^{η}$ διπλώνει και η πίσω πλευρά της εξακολουθεί να βρίσκεται στη διαδρομή του υπόλοιπου συρμού.



Περιοχή δημιουργίας αρχικού νέφους, έκρηξης και πρωτογενούς fireball.

3. Η Μηχανή της Επιβατικής εκτρέπεται αριστερά κατά την κίνηση της και πέφτει στο πρανές.
4. Οι λαμαρίνες της $2^{ης}$ πλατφόρμας της Εμπορικής λόγω αδράνειας σπάνε τις αλυσίδες πρόσδεσης και πέφτουν επάνω στην ομάδα δοχείων και τα διαρρηγνύουν κάποια από αυτά, δημιουργώντας πίδακες προς όλες τις κατευθύνσεις.
5. Το υγρό διασκορπίζεται, δημιουργείται αερόλυμα, εξαπλώνεται, εξατμίζεται και αναφλέγεται από τους σπινθήρες που προκαλεί η τριβή των μεταλλικών στοιχείων. Τα μεταλλικά στοιχεία στην περιοχή περιμετρικά έχουν υποστεί εμφανώς μεγάλη θερμική καταπόνηση.



Σημείο όπου οι λαμαρίνες της πλατφόρμας #2 της Εμπορικής διαρρηγνύουν την πρώτη ομάδα δοχείων, προκύπτει το πρωτογενές νέφος και fireball.

6. Το νέφος αμέσως μετά την ανάφλεξη **προκαλεί αρχικά ταχύτητες κοντά σε επίπεδο έκρηξης (223 m/s) πολύ μικρής διάρκειας**. Προκύπτει έντονη διόγκωση του fireball και η καύση στη συνέχεια μεταβαίνει στην απλή καύση (deflagration). Το φαινόμενο περιγράφεται διεθνώς με τον όρο DDT (Detonation-Deflagration-Transition).
7. Οι λαμαρίνες της συνεχίζουν να πέφτουν επάνω στην ομάδα δοχείων και τα διαρρηγνύουν. Το περιεχόμενο εύφλεκτο υγρό περιλούζει τα βαγόνια της Επιβατικής. Τα βαγόνια αυτά πιθανότατα δέχθηκαν μεγάλο μέρος του υγρού, δεδομένων των συντριπτικών ευρημάτων (πλήρης ανάφλεξη όλων των εύφλεκτων στοιχείων).

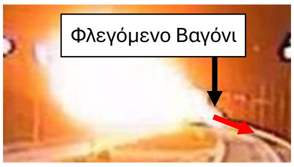


Οι Μηχανές της Εμπορικής προσκρούουν υπό γωνία στον αναλημματικό τοίχο.

Περιοχή δημιουργίας αρχικού νέφους, έκρηξης και πρωτογενούς fireball.

Αχ. Μιχόπουλος ©

8. Στο βίντεο από την βόρεια κάμερα της ΠΑΘΕ φαίνεται φλεγόμενο βαγόνι να κινείται βόρεια, επεκτείνοντας το προϋπάρχον fireball. Ένα σημαντικό κλάσμα της ποσότητας των δοχείων αυτών τροφοδοτεί το υπάρχον πρωτογενές fireball και επαναλαμβάνεται η απλή καύση.



9. Η επόμενη παρτίδα δοχείων διαρρηγνύονται (3η διάρρηξη) επίσης και ανατροφοδοτούν το υπάρχον νέφος και fireball. Με την έναρξη της ανατροφοδοσίας του fireball, επαναλαμβάνεται η απλή καύση.
10. Τα δοχεία μεταφοράς χημικών (IBCs) που κατά πάσα πιθανότητα χρησιμοποιούντο, ήταν κατά τα φαινόμενα τοποθετημένα στην πλατφόρμα #1. Οι παραμορφώσεις των μεταλλικών φύλλων που ήταν φορτωμένα στις πλατφόρμες #2 και #3 και κατέληξαν στο έδαφος, μαρτυρούν ότι εκτέθηκαν παρατεταμένα σε ψηλές θερμοκρασίες.



Η μεγαλύτερη ποσότητα (65-70%) από το περιεχόμενο των δοχείων καταλήγει να χυθεί στο έδαφος, κάτω από, και εκατέρωθεν των σιδηροδρομικών γραμμών στα πρανή. Η ποσότητα αυτή καίγεται και πιθανά προκαλεί την ανάφλεξη της ποσότητας των ελαίων που εκτίθενται στην φλόγα. Η φωτιά της εν λόγω ποσότητας που έπεσε στο έδαφος θεωρείται υπεύθυνη για τους θανάτους των Επιβατών που βρέθηκαν απανθρακωμένοι.



Η θέση των βαγονιών #2 και #3 της Επιβατικής (με τις μέγιστες επιπτώσεις από την φωτιά) εντοπίζονται σε σχετικά μεγάλη απόσταση από τις 2 μηχανές της Εμπορικής. **Το βαγόνι που φαίνεται στο βίντεο να οδεύει φλεγόμενο έχει υποστεί την μέγιστη καταστροφή από τη φωτιά**. Η φωτιά αυτή συντηρήθηκε για πολλή ώρα στο εξωτερικό των βαγονιών, ώστε να προκαλέσει την ανάφλεξη όλων των αναφλέξιμων υλικών του εσωτερικού τους. Αυτή η φωτιά αποκλείεται να έχει προκληθεί από τα έλαια σιλικόνης του μετασχηματιστή της Εμπορικής. Η ενδεχόμενη συμμετοχή τους απλώς επέτεινε το φαινόμενο.

Αχ. Μιχόπουλος ©

11. Εκτίμηση των διαστάσεων του Fireball

Η δημιουργία και η εξέλιξη ενός τυπικού fireball έχει μελετηθεί διεξοδικά από πολλούς διεθνείς οργανισμούς (π.χ. DNV, TNO) και ερευνητές. Για τον προσδιορισμό της ποσότητας του καυσίμου που συμμετέχει στο φαινόμενο, οι πλέον κρίσιμες παράμετροι είναι η διάμετρος του fireball σε πλήρη ανάπτυξη και ο συνολικός χρόνος ζωής του. Ενδεικτικά οι φάσεις εξέλιξης ενός fireball φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

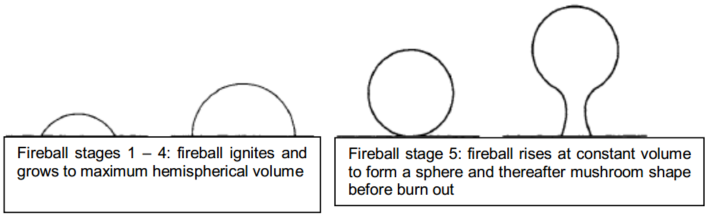


Figure 5. Stages in the development of a fireball Shield (1993)

Αντίστοιχη ακολουθία φαίνεται από λήψεις βίντεο από fireball 2 κιλών (4 λίτρων) προπανίου, διάρκειας μικρότερης από 2 δευτερόλεπτα:



Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται καθαρά ο μηχανισμός ανάπτυξης και ανύψωσης του fireball.

Η άνοδος της θερμοκρασίας λόγω της καύσης προκαλεί μείωση του ειδικού βάρους της μάζας που φλέγεται, οπότε ανυψώνεται. Λόγω της ανύψωσης, προκύπτει υποπίεση και εισβολή αέρα από την κάτω πλευρά του. Η εισβολή αυτή έχει σχετικά ψηλή ταχύτητα και προκαλεί ανάδευση στην φλεγόμενη μάζα.

Η κατάληξη, λόγω της ανάδευσης και στροβιλισμού που προκαλεί ο αέρας που εισβάλει, φαίνεται στη συνέχεια:

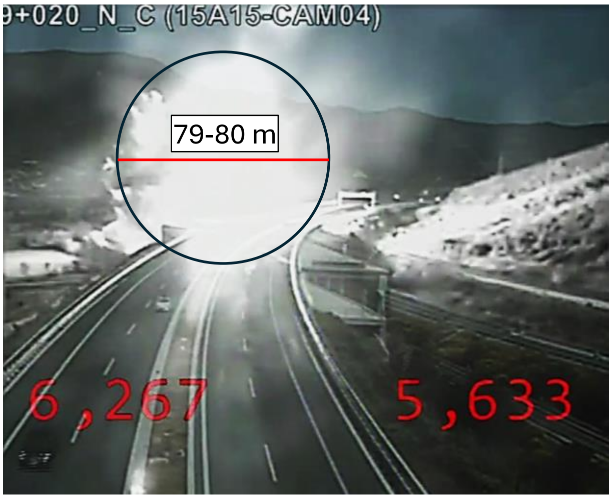


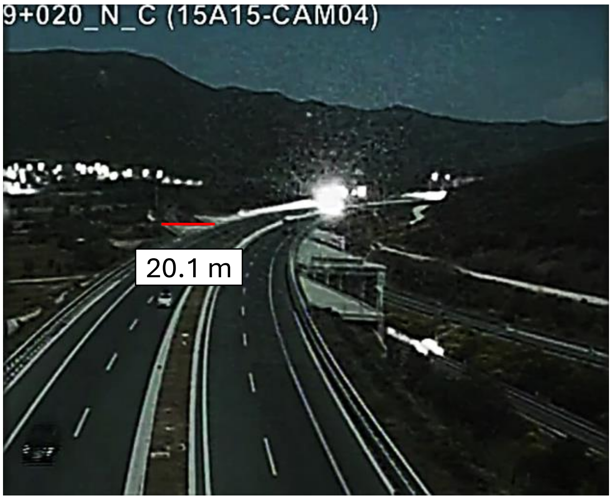
Το fireball στο ατύχημα των Τεμπών σε πλήρη ανάπτυξη φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Φυσικά, συντίθεται από το πρωτογενές στη μέγιστη διάμετρο και το δευτερογενές fireball σε φάση ανάπτυξης:



Βάσει μετρήσεων από τα βίντεο, σε πλήρη ανάπτυξη (μέγιστες διαστάσεις και ένταση ακτινοβολίας) το συνδυασμένο fireball έχει το σχήμα που φαίνεται στη συνέχεια από την συγκεκριμένη οπτική γωνία. Οι διαστάσεις που προκύπτουν για τον συνδυασμό του πρωτογενούς με το δευτερογενές, είναι 79 m (μέγιστη διάμετρος στην κεφαλή), το κέντρο της κεφαλής είναι σε ύψος ~75 m πάνω από το επίπεδο της Εθνικής Οδού.

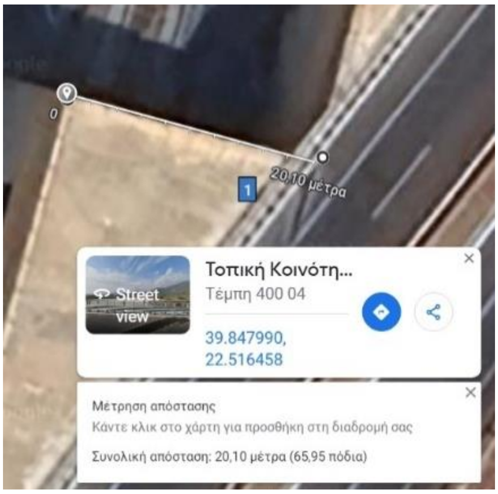
Αχ. Μιχόπουλος ©





Ο υπολογισμός της μέγιστης διαμέτρου του fireball είναι κομβικής σημασίας στην προσπάθεια εκτίμησης της ποσότητας εύφλεκτου υγρού στο νέφος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με βάση τις εικόνες από την Νότια κάμερα της ΠΑΘΕ, δεδομένου ότι έχει οπτική γωνία κατά μέτωπο του συμβάντος και υπάρχουν εύκολα μετρήσιμα μήκη στο επίπεδο αναφοράς, δηλαδή του fireball.

Το επίπεδο αναφοράς, πάνω στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις, είναι το κατακόρυφο επίπεδο που ορίζει η έξοδος του τούνελ.

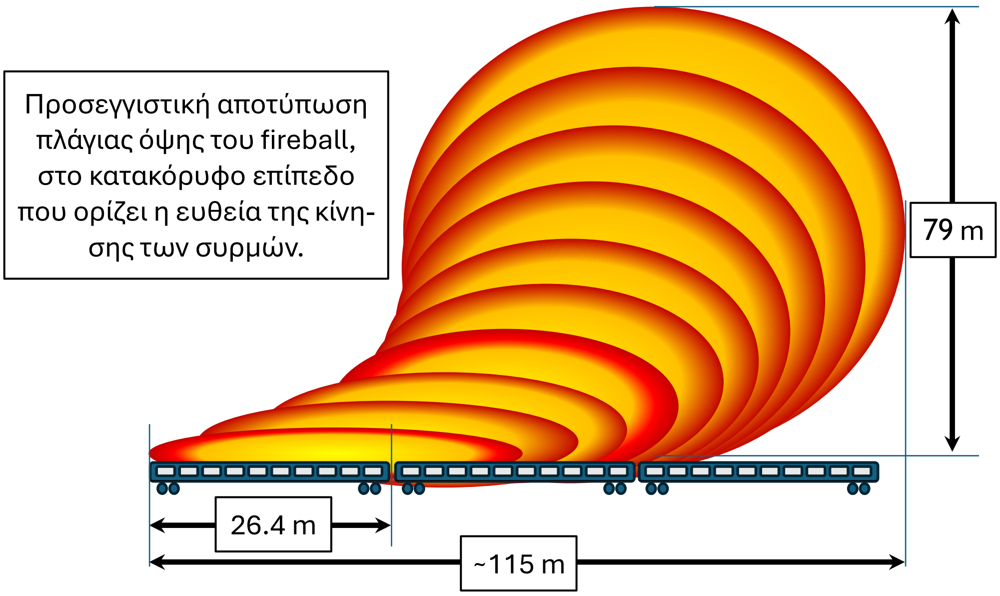


Το πλάτος του τούνελ διαγράφεται πολύ καθαρά στην φωτογραφία επάνω δεξιά και είναι 20.1 m, όπως προέκυψε από μέτρηση στο Google Maps. Από τη σύγκριση αυτού του μήκους με τον κύκλο που περικλείει το fireball, προκύπτει **μέγιστη διάμετρος 79-80 m.**

Η προβολή του κερατοειδούς σχήματος σε οριζόντιο επίπεδο έχει μέγιστο τόξο μήκους ~157 m.

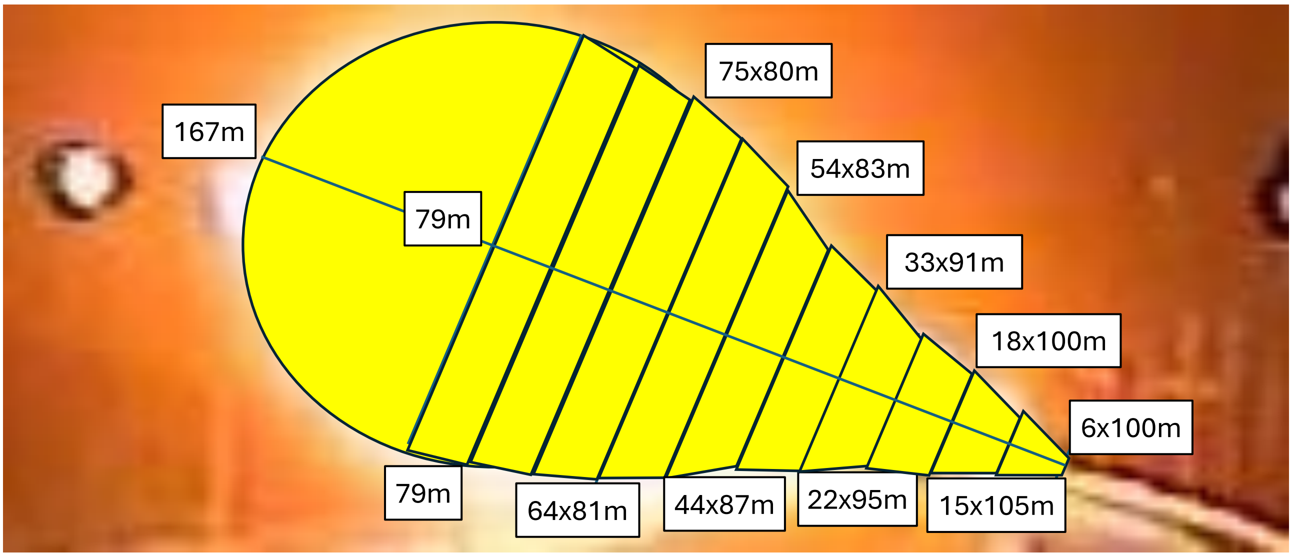
Η χορδή του τόξου που σχηματίζουν τα επί μέρους κέντρα των κύκλων που περιγράφουν το **κερατοειδές στερεό σχήμα έχει μήκος ~167 m.**

Λόγω της τάσης ανύψωσης που έχει το fireball δημιουργείται η αναρρόφηση αέρα από την κάτω πλευρά, ο οποίος συμπαρασύρει το παραγόμενο νέφος από τη $2^{η}$ και $3^{η}$ πρόσκρουση και απελευθέρωση υλικού. Έτσι προκύπτει το σχήμα (πλάγια όψη) που αποτυπώνεται στο παρακάτω σκαρίφημα:

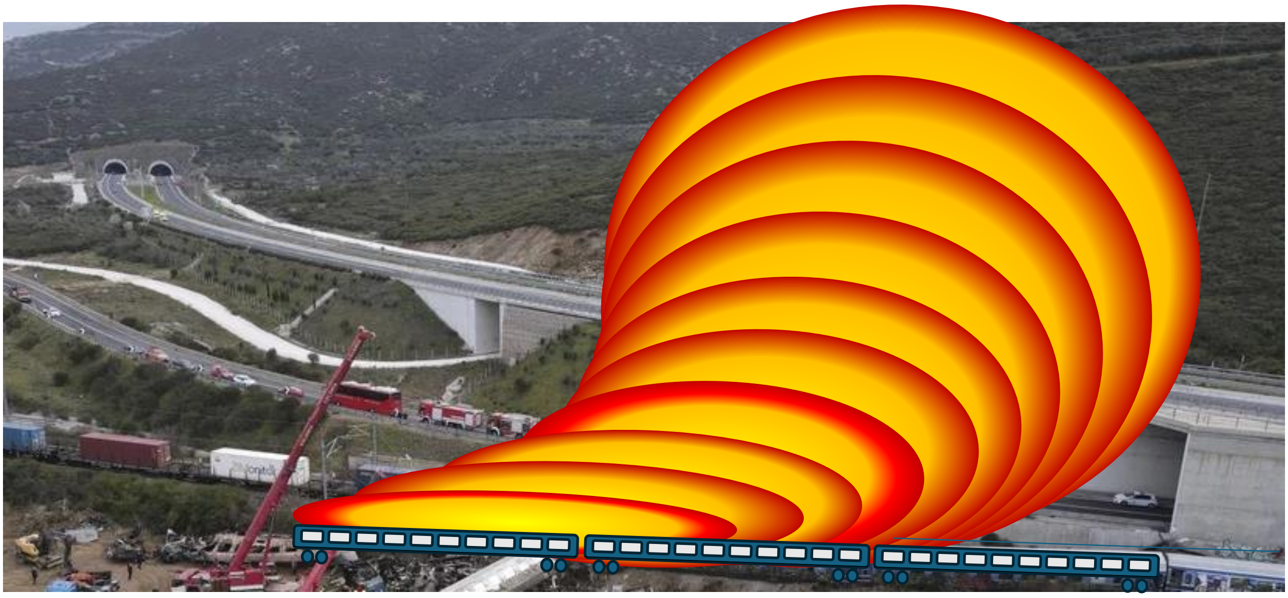


Αχ. Μιχόπουλος ©

Λόγω του ακανόνιστου σχήματος του fireball, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω διαστάσεις και όλες τις επί μέρους διαμέτρους που εμφανίζει στο χώρο, έγινε αναπαράσταση 3 διαστάσεων και ογκομέτρηση του θύλακα του συνδυασμού των fireballs. **Ο όγκος του θύλακα είναι ~544000 m³.**



Η **προσεγγιστική αποτύπωση** της πλάγιας όψης του fireball προβάλλεται στην εικόνα της περιοχής:



Αχ. Μιχόπουλος ©

Η αποτύπωση του fireball σε κάτοψη δίνεται στην συνέχεια. Η διπλή αποτύπωση είναι απαραίτητη για να προσδιοριστούν όλες οι επί μέρους διαστάσεις και ο συνολικός όγκος του.



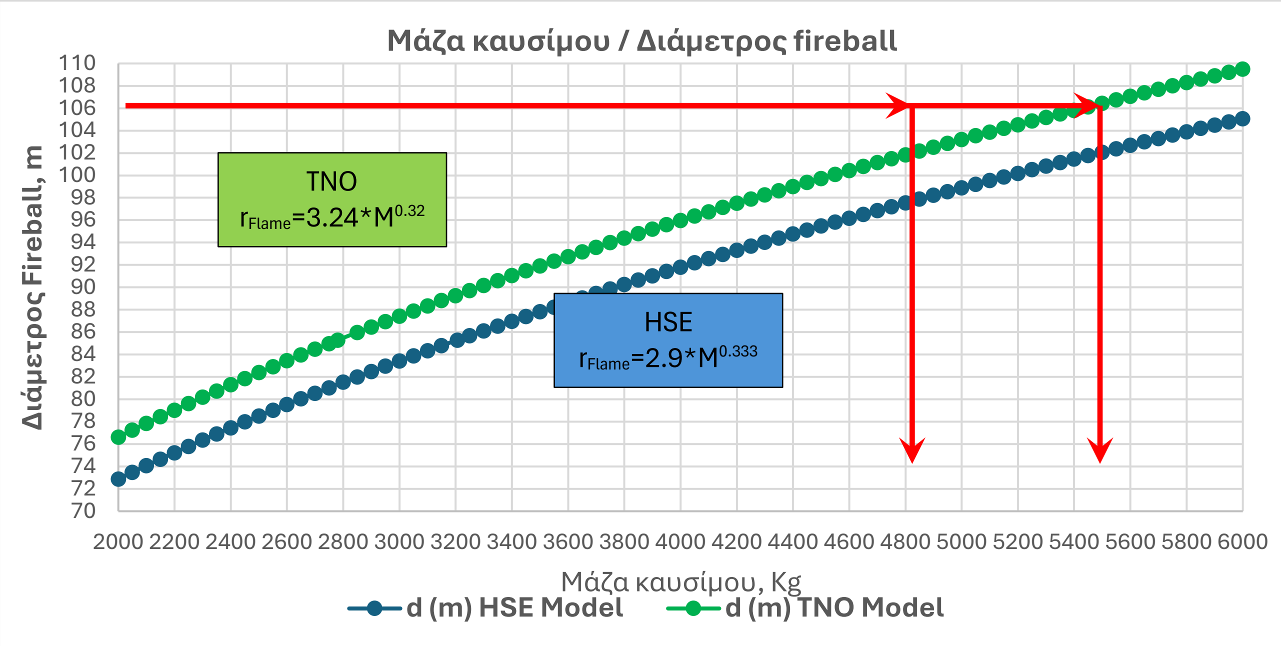
Με δεδομένο ότι τα σχετικά μοντέλα διασποράς και αποτίμησης των συνεπειών από την ανάφλεξη νέφους λειτουργούν με βασική παράμετρο την διάμετρο του fireball (για να προσδιοριστεί η μάζα του εύφλεκτου υλικού), θεωρώντας ότι το fireball είναι <u>τέλεια σφαίρα</u>, ο παραπάνω όγκος του σχήματος του αναφλέξιμου θύλακα (~544000 m^3) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισοδύναμης διαμέτρου της αντίστοιχης τέλειας σφαίρας με τον ίδιο όγκο.

<u>Η μέγιστη ισοδύναμη διάμετρος τέλειας σφαίρας του συνδυασμού των fireballs είναι 101,3 μέτρα.</u>

Αχ. Μιχόπουλος ©

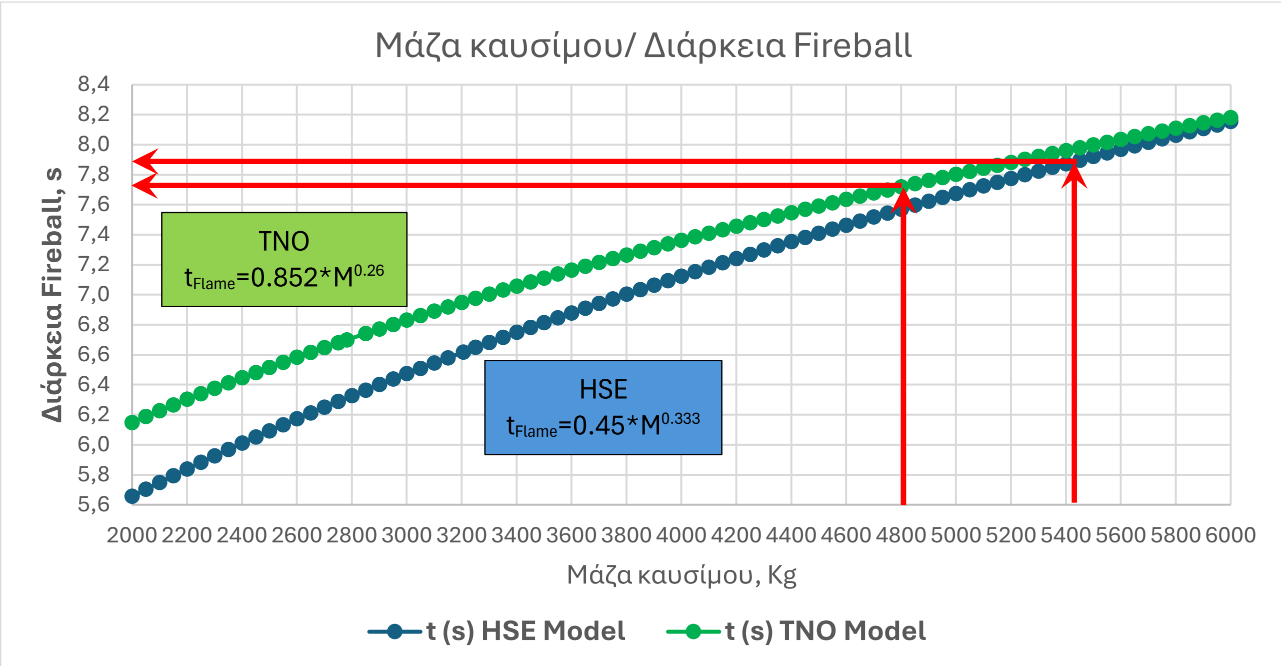
12. Υπολογισμοί μάζας υδρογονανθράκων / διάρκειας του Fireball με στατικά μοντέλα

Με χρήση υπολογιστικών **στατικών μοντέλων της DNV (Fireball Model Theory Review Validation)** έγινε εκτίμηση της ποσότητας αρωματικών υδρογονανθράκων που ανεφλέγη στο νέφος βάσει της μέσης ισοδύναμης διαμέτρου του. Εξετάζεται το σενάριο για **μέση ισοδύναμη διάμετρο του fireball 101.3 m** και όγκο ~**544000 m³**:



a. HSE model: d=101.3 m, M=4.8 tons
b. TNO model: d=101.3 m, M=5.4 tons

Τα μοντέλα αυτά, δίνουν και τη συσχέτιση μάζας/χρόνου ζωής του fireball:

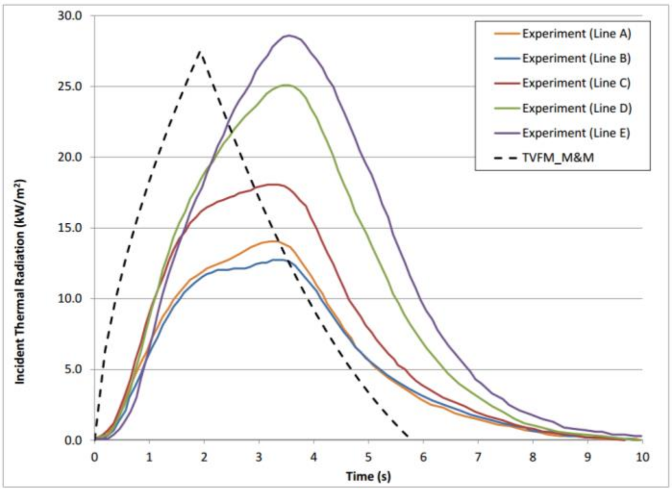


a) HSE model: M=4.8 tons, t=7.9 s
b) TNO model: M=5.4 tons, t=7.7 s

Από την ανάλυση του βίντεο ο συνολικός χρόνος καύσης του fireball είναι 9.6 s.

Η απόκλιση αυτή θεωρείται φυσιολογική λόγω του γεγονότος ότι το καύσιμο δεν τροφοδότησε το νέφος μία μόνο φορά, αλλά υπήρξαν 2 πρόσθετες δόσεις ανατροφοδοσίας λόγω προσκρούσεων.

13. Ερμηνεία της εξέλιξης του Fireball, Cascade Model



Όπως προαναφέρθηκε, η διάρκεια ζωής ενός fireball είναι πρώτιστα συνάρτηση του αναφλέξιμου υλικού και της ποσότητας του.

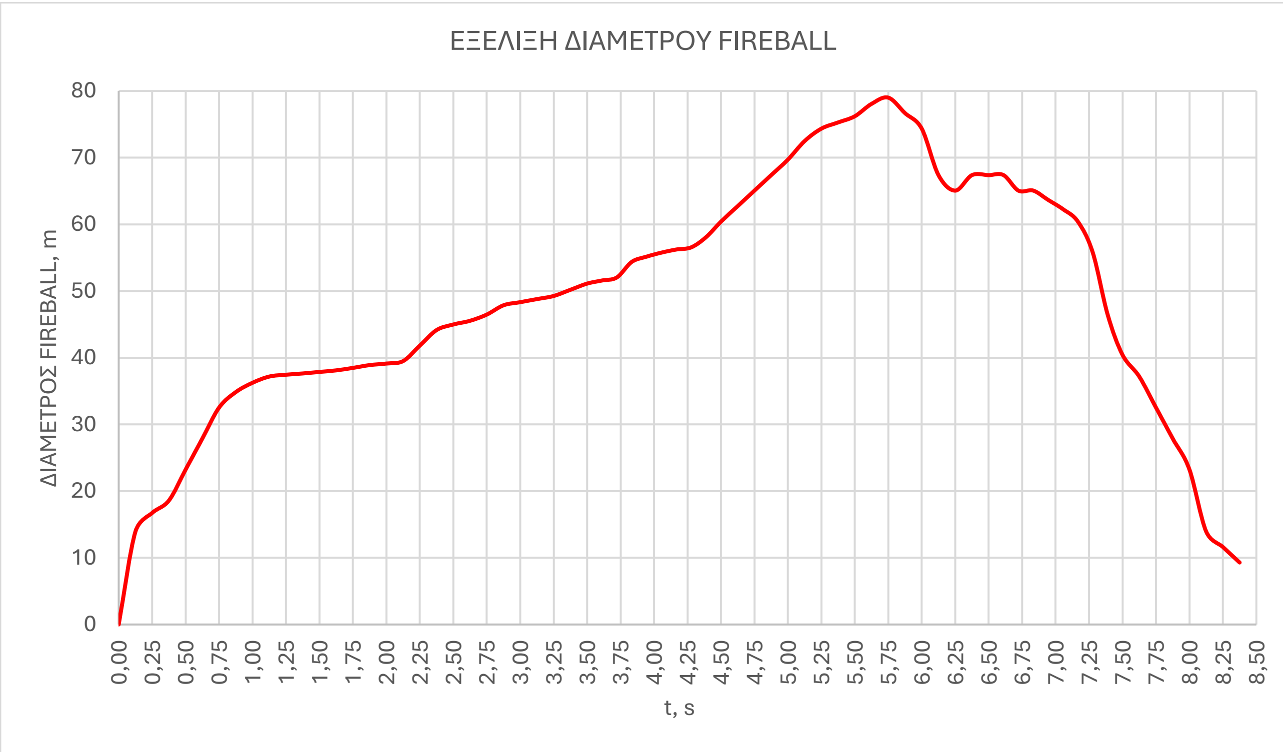
Η μορφή του ρυθμού καύσης και κατά συνέπεια της ακτινοβολίας που εκπέμπεται φαίνεται στο διάγραμμα, όπου καταγράφονται τα αποτελέσματα μετρήσεων από σχετικά πειράματα.

Τα εν λόγω πειράματα έγιναν με **στιγμιαία απελευθέρωση** του υλικού που αναφλέγεται.

Το fireball που προέκυψε στο υπό διερεύνηση ατύχημα, φαίνεται ότι προήλθε, όχι από μια και μοναδική απελευθέρωση, αλλά πιθανότατα από διαδοχικές απελευθερώσεις και ανατροφοδοτήσεις καύσιμης ύλης.

Από τη λεπτομερή ανάλυση των δεδομένων των διαδοχικών εικόνων που πάρθηκαν από τα διαθέσιμα βίντεο, έγινε αποτύπωση της εξέλιξης της διαμέτρου του πρωτογενούς fireball, όπως αυτό εξελίσσεται.

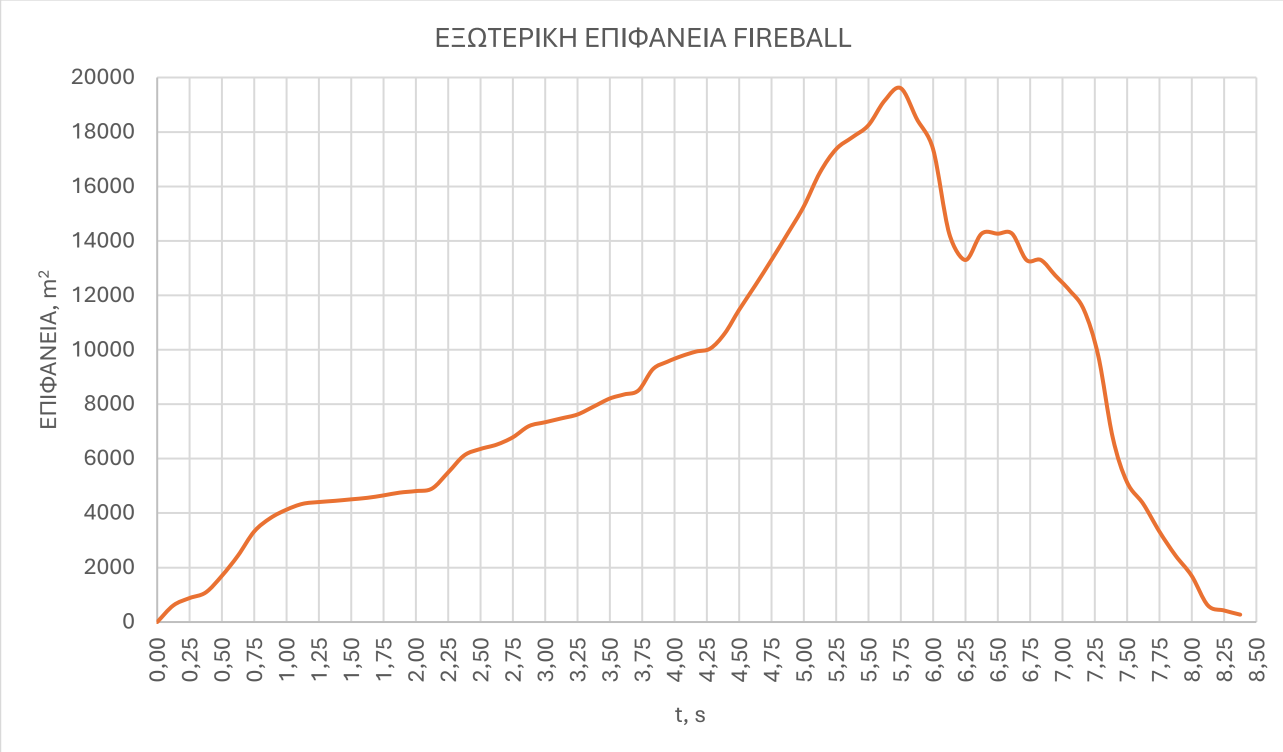
Η καταγραφή των διαμέτρων συναρτήσει του χρόνου φαίνεται στο διάγραμμα:



Η καταγραφή των διαμέτρων συναρτήσει του χρόνου μετατρέπεται (με απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς) στην εξέλιξη της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας του fireball, έτσι ώστε να πάρουμε ένα διάγραμμα που να αντιστοιχεί στη συνολική εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας.

Αχ. Μιχόπουλος ©

Η εκπομπή ακτινοβολίας στη φάση της μεγέθυνσης μπορεί να θεωρηθεί σταθερή, οπότε η συνολική ακτινοβολία είναι ευθέως ανάλογη της εξωτερικής επιφάνειας, η οποία εξελίσσεται σύμφωνα με την εικόνα που φαίνεται στο διάγραμμα:



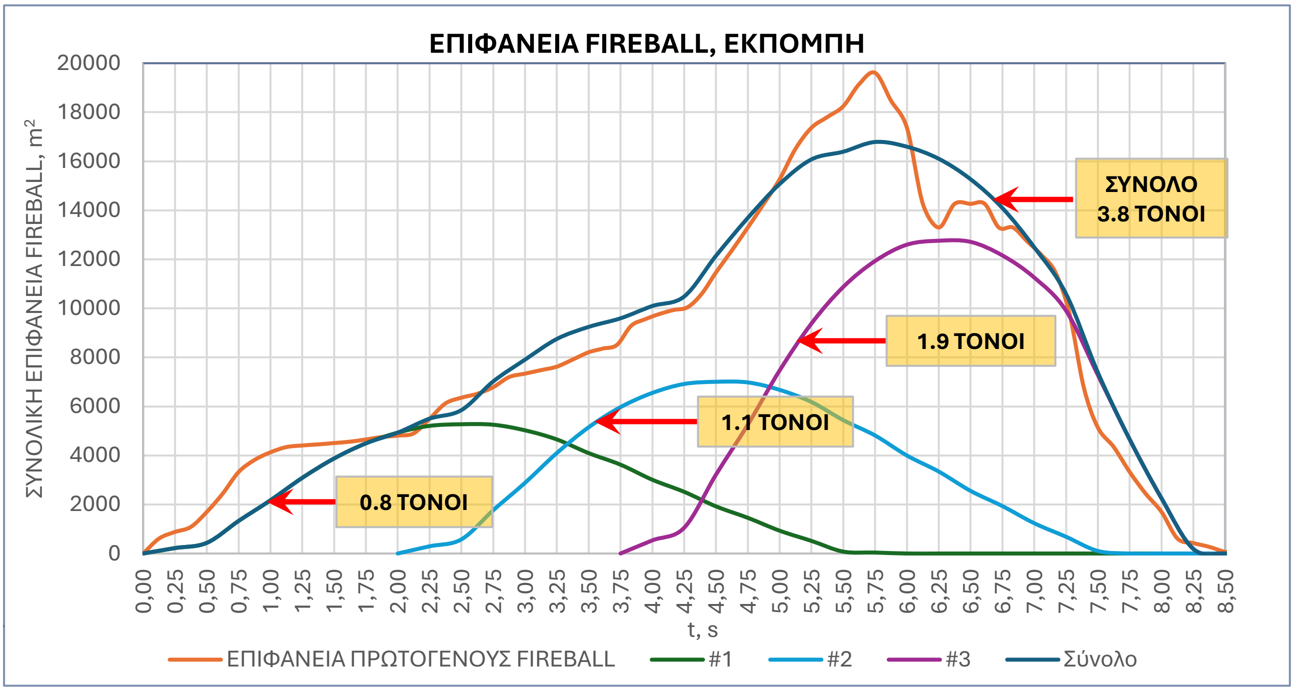
Η παραπάνω μορφή της καμπύλης του fireball **<u>δεν φαίνεται να έχει καμία σχέση με την τυπική μορφή εξέλιξης ενός fireball</u>** που ήδη αναφέρθηκε.

Αν, ωστόσο, γίνει προσπάθεια **σύνθεσης** των **διαδοχικών προσθηκών υλικού**, προκύπτει μια σύνθετη καμπύλη που προσεγγίζει ικανοποιητικά τα δεδομένα των μετρήσεων των διαμέτρων.

Η μέθοδος αυτή (Cascade release ή διαδοχικές απελευθερώσεις) προσπαθεί να ξεπεράσει την εγγενή αδυναμία των υπολογιστικών μοντέλων, που λειτουργούν στη λογική της στιγμιαίας απελευθέρωσης του υλικού (instantaneous release).

Με διαδικασία βελτιστοποίησης (ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων του μοντέλου από τα πραγματικά δεδομένα) προσδιορίζονται οι επί μέρους ποσότητες που μπαίνουν στο νέφος από την αρχική πρόσκρουση και τις επακόλουθες ανατροφοδοσίες (0.8/1.1/1.9 τόνοι).

Με αυτή τη μέθοδο η συνολική ποσότητα υδρογονανθράκων στο νέφος εκτιμάται σε 3.8 τόνους.



Οι τρείς καμπύλες (#1, #2, #3) αποτυπώνουν την συνεισφορά των τριών επί μέρους περιστατικών απελευθέρωσης υλικού λόγω των προσκρούσεων.

Η μπλε καμπύλη αντιστοιχεί στο άθροισμα των καμπυλών των τριών επί μέρους περιστατικών.

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι **η καμπύλη του συνόλου προσομοιάζει αρκετά ικανοποιητικά την καμπύλη που αποτυπώνει την εξέλιξη της συνολικής επιφάνειας του πρωτογενούς fireball.**

Η παραπάνω μέθοδος, αν και μη πιστοποιημένη, **αποτελεί στην ουσία επέκταση και αξιοποίηση υφιστάμενων διεθνώς παραδεκτών και πιστοποιημένων μεθόδων,** και μπορεί να **ξεπεράσει τις εγγενείς αδυναμίες των μοντέλων που χρησιμοποιούνται διεθνώς** και να ερμηνεύσει το φαινόμενο συνολικά από πλευράς ποσοτήτων και χρόνων διάρκειας. Η μέθοδος αυτή **ερμηνεύει και την απροσδόκητα μεγάλη συνολική διάρκεια ζωής του fireball,** για τις ποσότητες που εμπλέκονται στη δημιουργία του, επειδή το αρχικό νέφος ανατροφοδοτείται και διογκώνεται **σε χρονικές στιγμές που φυσιολογικά θα έπρεπε να είχε αρχίσει η συρρίκνωση του**.

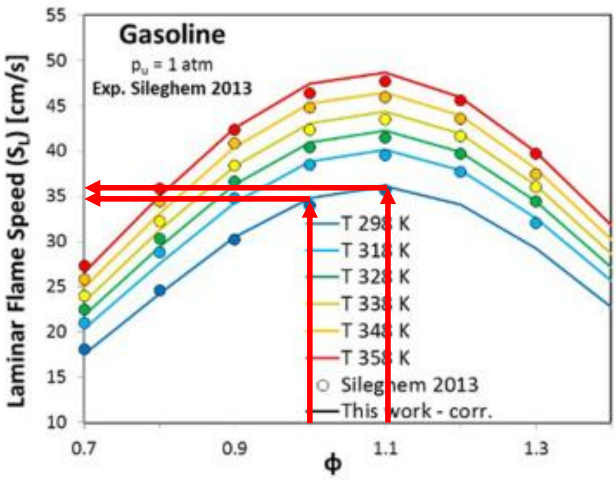
Αχ. Μιχόπουλος ©

14. Ταχύτητα της φλόγας του Fireball

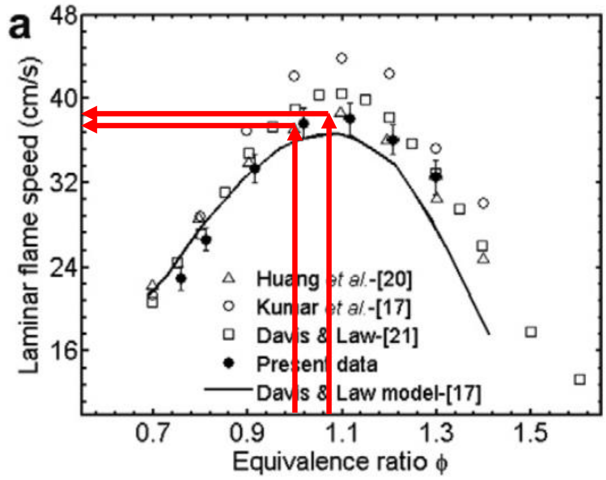
Ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό της καύσης εύφλεκτων υδρογονανθράκων είναι η ταχύτητα εξάπλωσης της φωτιάς. Αυτή η ταχύτητα έχει μελετηθεί εκτενέστατα για ένα πλήθος ενώσεων σε πειραματικές διατάξεις όπου το μίγμα είναι στάσιμο (μέσα σε διαφανή σωλήνα) όπου είναι εφικτή η φωτογράφηση και η καταγραφή της ταχύτητας της φλόγας, ή διατάξεις όπου η ροή είναι στρωτή (laminar flow). Η μετρούμενη ταχύτητα χαρακτηρίζεται "**Ταχύτητα του μετώπου της φλόγας**" (Flame front velocity). Για τις περιπτώσεις που η ροή είναι τυρβώδης (turbulent flow), οι ταχύτητες αυτές είναι τριπλάσιες από τις αντίστοιχες της στρωτής ροής.

Παρατίθενται μερικά ενδεικτικά διαγράμματα, στα οποία φαίνονται οι ταχύτητες συναρτήσει της σύστασης του μίγματος (equivalence ratio, φ). Για **στοιχειομετρική καύση φ=1**, για φ<1 το μίγμα είναι πτωχό, ενώ για φ>1 πλούσιο. Η μέγιστη ταχύτητα παρατηρείται πάντοτε για φ **μεταξύ** 1.0 και 1.1.

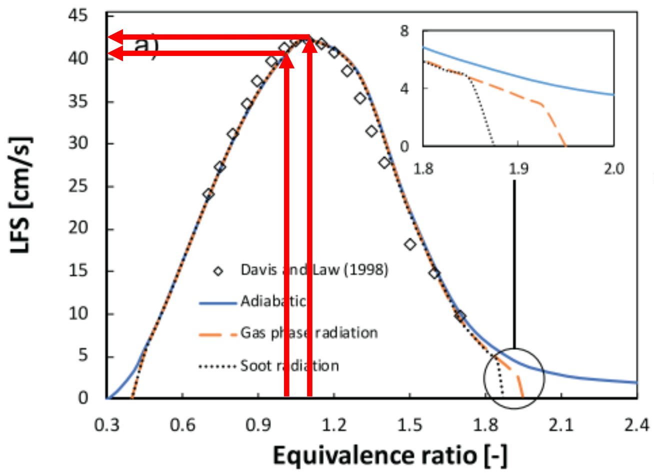
Βενζίνη



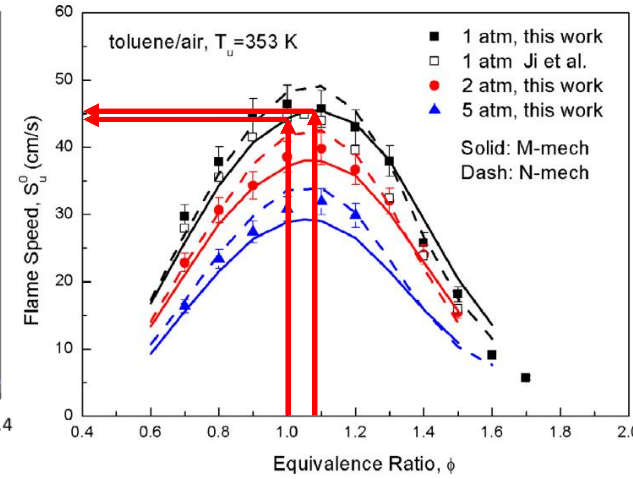
Επτάνιο



Βενζόλιο



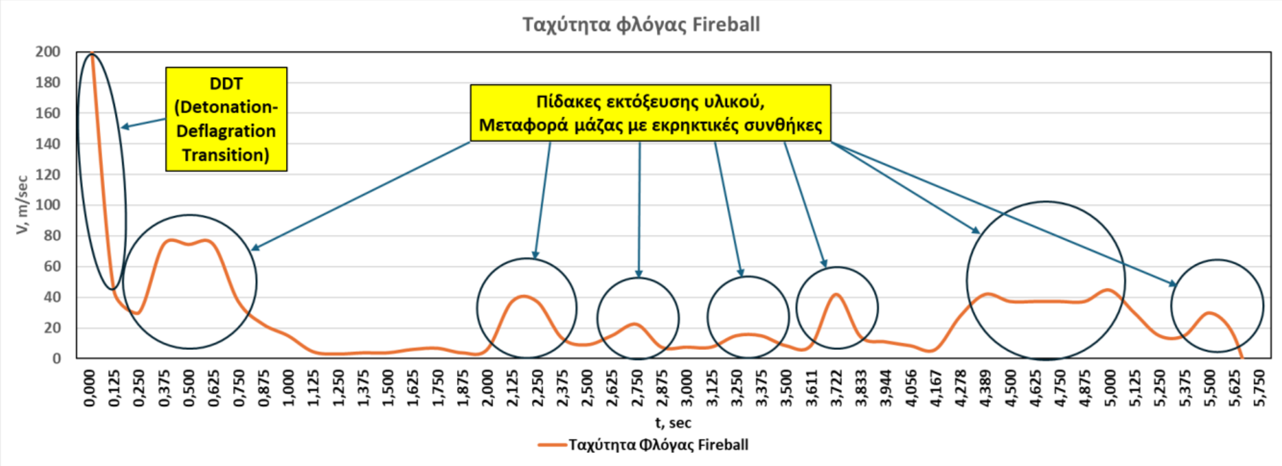
Τολουόλιο



Ουσία	Μέγιστη ταχύτητα μετώπου, Στρωτή ροή	Μέγιστη ταχύτητα μετώπου, Τυρβώδης ροή
Βενζίνη	36 cm/s	108 cm/s
Επτάνιο	36 cm/s	108 cm/s
Βενζόλιο	42 cm/s	126 cm/s
Τολουόλιο	45 cm/s	135 cm/s

Αχ. Μιχόπουλος ©

Οι ταχύτητες μεγέθυνσης του fireball προκύπτουν από την μελέτη των εικόνων του βίντεο. Έτσι, η εξέλιξη της ταχύτητας του μετώπου της φωτιάς ισούται με την ταχύτητα αύξησης της ακτίνας του fireball (V=dD/2dt), D η μετρούμενη διάμετρος.



Από την καταγραφή αυτή διαπιστώνονται τα εξής:

1. Οι ταχύτητες είναι εν γένει πολλαπλάσιες από αυτές που δίνει η βιβλιογραφία για τυρβώδη φλόγα. Αυτό ερμηνεύεται από την εν γένει βιαιότητα του γεγονότος. Οι αυξημένες ταχύτητες προκύπτουν από την διόγκωση του πυρήνα του νέφους (λόγω των υψηλών θερμοκρασιών) που δείχνει μια ημι-εκρηκτική συμπεριφορά.

2. Στο πρώτο 0.1 δευτερόλεπτο του συμβάντος παρατηρείται η μέγιστη ταχύτητα της φλόγας, 223 m/s, δηλαδή 73% της ταχύτητας του ήχου. Πιθανότατα τη στιγμή της αρχικής έναυσης και για χρόνο <0.1 s η ταχύτητα φλόγας να ήταν στα όρια της ταχύτητας του ήχου, χωρίς όμως αυτό να είναι εφικτό να πιστοποιηθεί με απόλυτο τρόπο από τις διαθέσιμες ενδείξεις. Στη συνέχεια εμφανίζεται δραστική πτώση στα 30 m/s. Αυτή η απότομη πτώση δείχνει ότι εμφανίστηκε το φαινόμενο DDT (Detonation-Deflagration Transition).

3. Σε 7 διακριτά χρονικά σημεία εμφανίζονται εξάρσεις της ταχύτητας, πολλαπλάσιες της αναμενόμενης ταχύτητας της φλόγας, που οπτικά εμφανίζονται στο βίντεο σαν πίδακες εκτόξευσης φλεγόμενου υλικού, κάτι που υποδηλώνει τη βιαιότητα του φαινομένου.

4. Αυτή η εκτόξευση εξωθεί το υλικό με ταχύτητες πολλαπλάσιες από αυτές που προβλέπεται από τη σχετική βιβλιογραφία για μια πληθώρα εύφλεκτων υδρογονανθράκων.

5. Η συνήθης συμπεριφορά ενός fireball είναι αμέσως μετά την έναυση να αρχίσει να ανυψώνεται, λόγω της μείωσης του ειδικού βάρους των παραγόμενων αερίων εξ αιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Αυτή η ανύψωση δημιουργεί ένα έντονο ανοδικό ρεύμα στον αέρα που βρίσκεται από την κάτω πλευρά του. Αυτή η αύξηση της ταχύτητας του αέρα παρέχει το απαιτούμενο οξυγόνο για την καύση των ποσοτήτων καυσίμου που βρίσκεται στον πυρήνα του, όπου φυσιολογικά οι συγκεντρώσεις του καυσίμου είναι ψηλότερες και το μίγμα πολύ πλούσιο. Στην περίπτωση που εξετάζεται, το καύσιμο που προκύπτει από τις δύο ανατροφοδοσίες συμπαρασύρεται από το ανοδικό ρεύμα του αέρα. Έτσι ερμηνεύεται η μεγαλύτερη του αναμενόμενου διάρκεια ζωής του και οι μεγάλες ταχύτητες του μετώπου της φλόγας.

Δηλαδή, οι εν γένει ταχύτητες που καταγράφονται δείχνουν ότι **υπάρχει έντονη μεταφορά μάζας με πολύ ψηλές ταχύτητες προς τον εξωτερικό φλοιό**, που υπερβαίνουν κατά πολύ τις φυσιολογικές ταχύτητες του μετώπου της φλόγας με τυρβώδη επέκταση.

Αχ. Μιχόπουλος ©

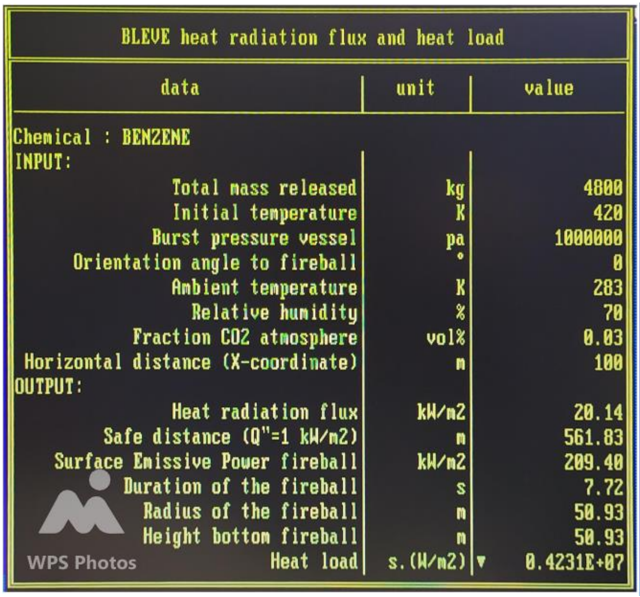
15. Υπολογισμοί μάζας υδρογονανθράκων / διάρκειας ζωής του Fireball με δυναμικό μοντέλο

Έγιναν υπολογισμοί των παραμέτρων του φαινομένου και στο εξειδικευμένο software **Effects** της TNO (**δυναμικό μοντέλο**).

Για μάζα βενζολίου ή ξυλολίου στο νέφος 4.8 τόνων δίνει ισοδύναμη διάμετρο fireball (μέγιστη) 101 m και διάρκεια ζωής 7.7 s. Ποιοτικά και ποσοτικά ίδια αποτελέσματα προκύπτουν για τολουόλιο.

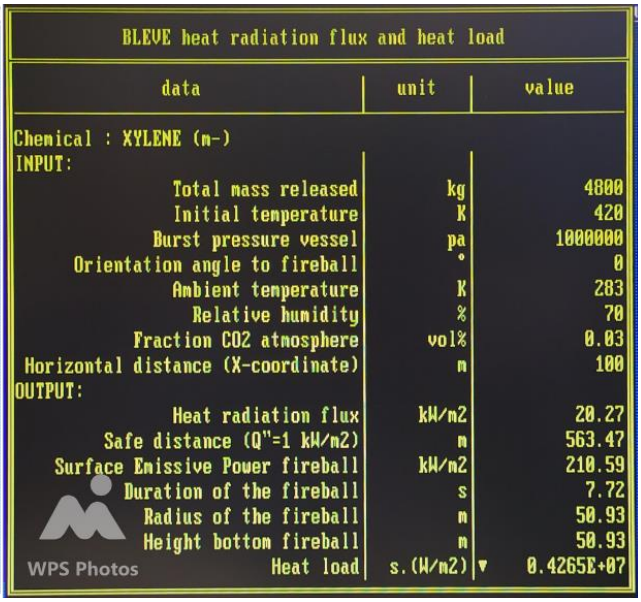
Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τα αντίστοιχα των στατικών μοντέλων.

INPUTS ΣΤΟ SOFTWARE EFFECTS ΓΙΑ ΔΙΑΜΕΤΡΟ FIREBALL 101 m, ΒΕΝΖΟΛΙΟ / ΞΥΛΟΛΙΟ



BLEVE heat radiation flux and heat load

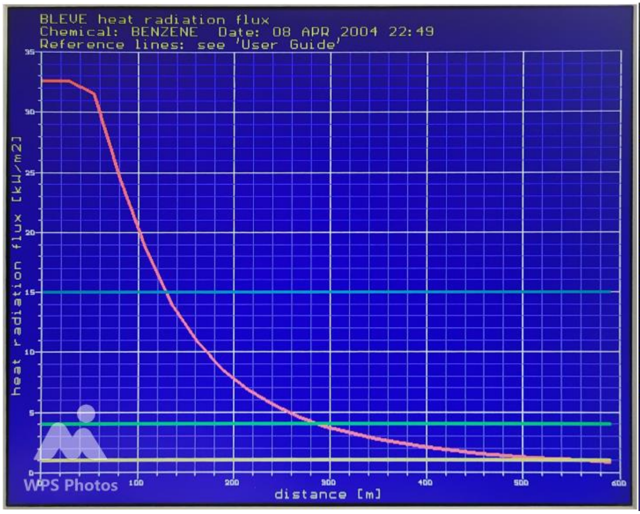
data	unit	value
Chemical : BENZENE		
INPUT:		
Total mass released	kg	4800
Initial temperature	K	420
Burst pressure vessel	pa	1000000
Orientation angle to fireball	°	0
Ambient temperature	K	283
Relative humidity	%	70
Fraction CO2 atmosphere	vol%	0.03
Horizontal distance (X-coordinate)	m	100
OUTPUT:		
Heat radiation flux	kW/m2	20.14
Safe distance (Q"=1 kW/m2)	m	561.83
Surface Emissive Power fireball	kW/m2	209.40
Duration of the fireball	s	7.72
Radius of the fireball	m	50.93
Height bottom fireball	m	50.93
Heat load	s.(W/m2)	0.4231E+07

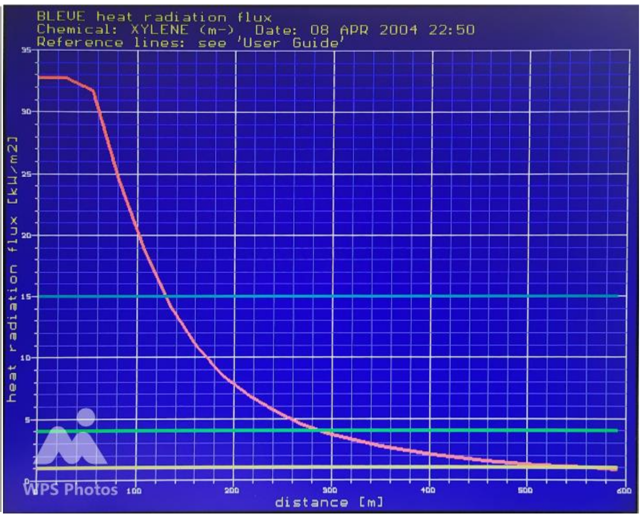


BLEVE heat radiation flux and heat load

data	unit	value
Chemical : XYLENE (m-)		
INPUT:		
Total mass released	kg	4800
Initial temperature	K	420
Burst pressure vessel	pa	1000000
Orientation angle to fireball	°	0
Ambient temperature	K	283
Relative humidity	%	70
Fraction CO2 atmosphere	vol%	0.03
Horizontal distance (X-coordinate)	m	100
OUTPUT:		
Heat radiation flux	kW/m2	20.27
Safe distance (Q"=1 kW/m2)	m	563.47
Surface Emissive Power fireball	kW/m2	210.59
Duration of the fireball	s	7.72
Radius of the fireball	m	50.93
Height bottom fireball	m	50.93
Heat load	s.(W/m2)	0.4265E+07

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ FIREBALL ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ, ΒΕΝΖΟΛΙΟ / ΞΥΛΟΛΙΟ





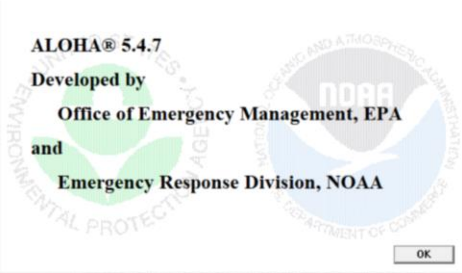
Όσον αφορά την ακτινοβολία που εξέπεμψε το fireball, φαίνεται ότι η πτώση της έντασης από τα 50 m προς μεγαλύτερες αποστάσεις είναι δραστική, πέφτει στο 1 kW/m^2 (ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο θάλασσας) σε απόσταση 450 m. **Σε απόσταση μέχρι 30 m, η ένταση της είναι ~30 kW/m^2**.

<u>Σημαντική επισήμανση</u>: Το πρόγραμμα προβλέπει ότι αν το υγρό είναι ξυλόλιο (οποιοδήποτε από τα 3 ισομερή), στην θερμοκρασία περιβάλλοντος 8-10 °C δεν γίνεται ανάφλεξη του νέφους (οι θερμο-κρασίες ανάφλεξης των 3 ισομερών είναι 27-32 °C).

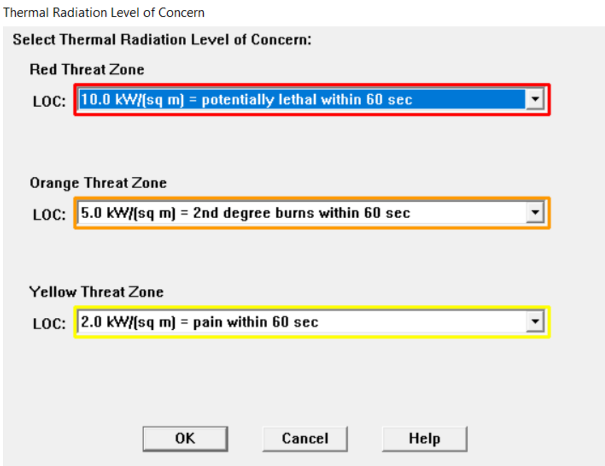
Αχ. Μιχόπουλος ©

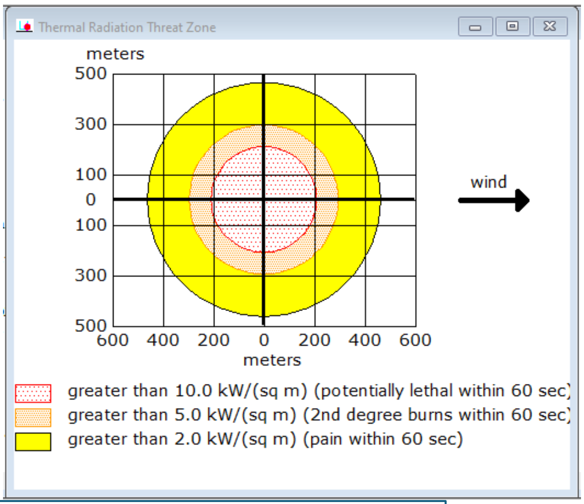
16. Επίπτωση της ακτινοβολίας του Fireball

Για την εκτίμηση της έντασης της ακτινοβολίας του fireball έγινε χρήση του λογισμικού ALOHA (EPA).



Έγιναν ενδεικτικοί υπολογισμοί για ποσότητα 5 τόνων βενζολίου στο fireball. Η ακτινοβολία που προκύπτει φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, όπου φαίνονται οι 3 επί μέρους ζώνες γύρω από το κέντρο του fireball με τις αντίστοιχες εντάσεις ακτινοβολίας:






```
THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Thermal radiation from fireball
  Red    : 223 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)
  Orange: 316 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)
  Yellow: 494 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)
```

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η ακτινοβολία έντασης άνω των 10 kW/m^2 φτάνει σε απόσταση 223 m από το κέντρο του fireball. Επισημαίνεται ότι η ένταση αυτή θεωρείται θανατηφόρα σε 60 δευτερόλεπτα, όταν υπάρχει απ' ευθείας έκθεση σε αυτή (direct exposure).

Με δεδομένο ότι το fireball ήταν υπερυψωμένο πάνω από την Επιβατική αμαξοστοιχία, τα άτομα που είχαν άμεση έκθεση στην ακτινοβολία ήταν όσοι είχαν θέση στην δεξιά πλευρά της επιβατικής (κατά την φορά κίνησης της) και δίπλα σε παράθυρο. Σε αυτή την περίπτωση, το παράθυρο απορροφά ένα τμήμα της. Οι υπόλοιποι Επιβάτες εκτέθηκαν μόνο σε ακτινοβολία από αντανάκλαση, ακόμη χαμηλότερη, αλλά αδύνατο να εκτιμηθεί.

Επισημαίνεται ότι ο κύριος κίνδυνος από ένα VCE είναι οι υπερπιέσεις και όχι η ακτινοβολία, δεδομένης της μικρής διάρκειας του φαινομένου. Στην προκειμένη περίπτωση, **το fireball είναι μάλλον απίθανο να προκάλεσε πολλούς θανάτους, ίσως επηρέασε μόνο άτομα που εκτέθηκαν άμεσα στην ακτινοβολία, αν η θέση τους ήταν στη δεξιά πλευρά σε παράθυρο.**

Οι θάνατοι αποδίδονται στη φωτιά που εκδηλώθηκε από το υλικό στο έδαφος στη συνέχεια.

Εκτός των παραπάνω στοιχείων, για την ποσότητα των 5 τόνων, το λογισμικό δίνει διάμετρο fireball 100 m και διάρκεια ζωής 8 s.

Σημαντική επισήμανση: Το πρόγραμμα προβλέπει ότι αν το υγρό είναι ξυλόλιο (οποιοδήποτε από τα 3 ισομερή), στην θερμοκρασία περιβάλλοντος 8-10 °C δεν γίνεται ανάφλεξη του νέφους (οι θερμοκρασίες ανάφλεξης των 3 ισομερών είναι 27-32 °C).

17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπολογισμών του Fireball

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν έχουν ως εξής:

Μοντέλο	Μάζα υδρογονανθράκων στο fireball ισοδύναμης διαμέτρου 101.3 m	Διάρκεια του fireball
Cascade Release	3.8 Τόνοι	8.5 s
HSE (Στατικό)	4.8 Τόνοι	7.9 s
ALOHA (Στατικό)	5.0 Τόνοι	8.0 s
TNO Yellow Book (Στατικό)	5.4 Τόνοι	7.7 s
TNO Effects (Δυναμικό)	4.8 Τόνοι	7.7 s

Η απόκλιση των εκτιμήσεων μάζας που εμπλέκεται στη δημιουργία του fireball μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν θεωρείται φυσιολογική και είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε πλείστες παρόμοιες περιπτώσεις, όπως αυτό φαίνεται και από τη σχετική βιβλιογραφία (DNV).

Ο χρόνος ζωής του fireball που δίνουν τα επίσημα μοντέλα (7.7-8.0 s) είναι μικρότερος από τον χρόνο που προκύπτει από το βίντεο (9.6 s), λόγω της ανατροφοδοσίας του αρχικού fireball από το υλικό που προέκυψε λόγω των εμβολισμών τους σε δεύτερο και τρίτο χρόνο. Σημειωτέον ότι τα μοντέλα λειτουργούν στη λογική της στιγμιαίας απελευθέρωσης του υλικού (instant release), οπότε δεν είναι εφικτή υπολογιστικά η αποτίμηση της συνεισφοράς της ποσότητας που μπαίνει στη διαδικασία της καύσης σε δεύτερο χρόνο. Ως εκ τούτου, η απόκλιση αυτή ερμηνεύεται επαρκώς.

Το πλεονέκτημα του μοντέλου Cascade Release είναι ότι εκτός των άλλων, προσεγγίζει ικανοποιητικά και τον χρόνο ζωής του fireball (8.5s / 9.6s).

Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι η ποσότητα που εν τέλει καίγεται στο fireball, είναι πάντοτε το 90-92% της ποσότητας που κατέληξε στο νέφος. Ο λόγος είναι ότι στα έξω όρια του νέφους η συγκέντρωση του καυσίμου είναι κάτω από το κάτω όριο έκρηξης/ανάφλεξης, οπότε αυτή η ποσότητα (8-10% της αρχικής) παραμένει άκαυστη και διαχέεται στην ατμόσφαιρα.

Αχ. Μιχόπουλος ©

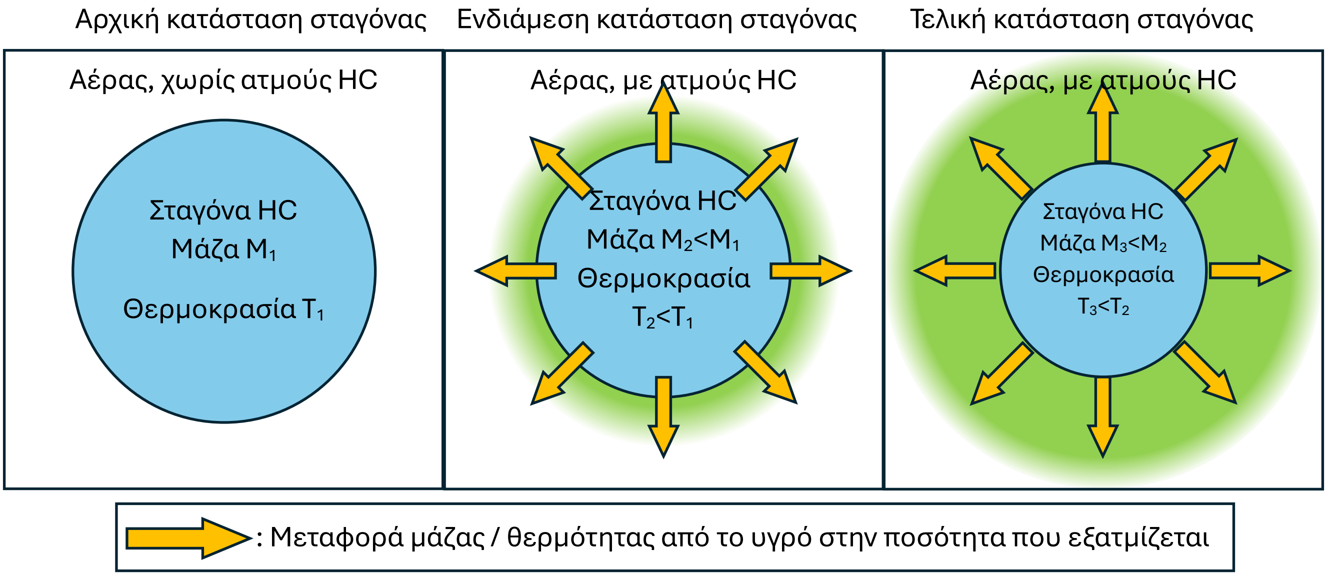
18. Εκτίμηση μάζας υδρογονανθράκων που χύθηκαν στο έδαφος

Εξάτμιση Υδρογονανθράκων, Γενικά στοιχεία

Εξάτμιση χαρακτηρίζεται η **αλλαγή φάσης ενός υγρού σε αέριο**. Αυτή η αλλαγή **απαιτεί την παροχή ενέργειας, δηλαδή την παροχή προς το υγρό της ενέργειας που αντιστοιχεί στην λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης**. Παραδείγματα:

- Για τον βρασμό και εξάτμιση του νερού απαιτείται έντονη θέρμανση.
- Όταν υπάρχει εφίδρωση, για να γίνει εφικτή η εξάτμιση, ο ιδρώτας «κλέβει» ενέργεια με τη μορφή θερμότητας από το δέρμα, προκαλώντας την ευεργετική ψύξη του.
- Σε θερμές περιόδους, η κατάβρεξη μιας θερμής επιφάνειας (π.χ. δαπέδου) λειτουργεί σαν μηχανισμός ψύξης λόγω του ότι για την εξάτμιση, το νερού αφαιρεί θερμότητα από την θερμή επιφάνεια.

Όταν έχουμε ένα φαινόμενο ατμοποίησης ενός υδρογονάνθρακα, η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή των ατμών αφαιρείται από την υπολειπόμενη ποσότητα υγρού. Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν το φαινόμενο της εξάτμισης με την ταυτόχρονη μεταφοράς θερμότητας από την υγρή μάζα προς την ποσότητα που ατμοποιείται.



Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από υγρό προς αέριο είναι 10-15 φορές πιο αργός από τον αντίστοιχο ρυθμό από υγρό προς υγρό. Έτσι, η εξατμιζόμενη ποσότητα υγρού αφαιρεί θερμότητα από το υπόλοιπο υγρό με το οποίο είναι σε επαφή και όχι από το αέριο με το οποίο είναι σε επαφή. Έτσι προκύπτει συνεχής μείωση της θερμοκρασίας του εναπομένοντος υγρού της σταγόνας, μέχρι η θερμοκρασία της να πέσει σε σημείο που η πτητικότητα του υγρού πρακτικά μηδενίζεται, δηλαδή το υγρό φτάνει στο σημείο να είναι υπόψυκτο, και η εναπομείνασα ποσότητα καταπίπτει στο έδαφος χωρίς να είναι πλέον δυνατή η περαιτέρω εξάτμιση του υγρού.

Έτσι, σε περίπτωση βίαιης διάρρηξης ενός δοχείου που περιέχει υδρογονάνθρακες (όπως οι αρωματικοί), προκύπτει νέφος σταγονιδίων που ακολουθούν την πορεία ατμοποίησης που ήδη περιεγράφηκε και το ποσοστό της συνολικής ποσότητας του υγρού που ατμοποιείται είναι ανάλογο με την πτητικότητα ενός υδρογονάνθρακα. Πιο συγκεκριμένα:

- Αν το περιεχόμενο του δοχείου είναι υγροποιημένοι υδρογονάνθρακες (προπάνιο, βουτάνιο), που έχουν πολύ έντονη πτητικότητα, οι σχετικές μετρήσεις από πειράματα έδειξαν ότι το ποσοστό της αρχικής ποσότητας που καταλήγει στην ατμόσφαιρα είναι 60%, ενώ το υπόλοιπο 40%, (που έχει γίνει υπόψυκτο για να μπορέσει να εξατμιστεί το 60%), χύνεται στο έδαφος. Αν βέβαια υπάρξει ανάφλεξη, η ποσότητα που αεριοποιήθηκε αναφλέγεται με τη μορφή Vapor Cloud Explosion, ενώ η ποσότητα που χύθηκε στο έδαφος καίγεται με τη μορφή του pool fire.
- Αν το περιεχόμενο του δοχείου είναι υδρογονάνθρακες τύπου βενζίνης ή αρωματικοί, που έχουν σχετικά μεγάλη πτητικότητα, οι σχετικές μετρήσεις από πειράματα έδειξαν ότι το ποσοστό της αρχικής

Αχ. Μιχόπουλος ©

ποσότητας που καταλήγει στην ατμόσφαιρα είναι 30-40% (συνάρτηση της θερμοκρασίας), ενώ το υπόλοιπο 70-60%, (που έχει γίνει υπόψυκτο, για να μπορέσει να εξατμιστεί το 30-40%), χύνεται στο έδαφος. Αν βέβαια υπάρξει ανάφλεξη, η ποσότητα που αεριοποιήθηκε αναφλέγεται με τη μορφή Vapor Cloud Explosion, ενώ η ποσότητα που χύθηκε στο έδαφος καίγεται με τη μορφή του pool fire.

Για να γίνει πλήρως κατανοητός ο μηχανισμός της κατανομής μεταξύ αέριας διασποράς και ποσότητας που καταλήγει στο έδαφος, δίνεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα συμπεριφοράς της βενζίνης (με συμπεριφορά ταυτόσημη με τα αρωματικά από πλευράς πτητικότητας και αναφλεξιμότητας). Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται βυτιοφόρο με 20-30 τόνους βενζίνης να εκτρέπεται, διαρρηγνύονται οι δεξαμενές, προκύπτει fireball, και η ποσότητα που χύνεται στο οδόστρωμα καίγεται σαν pool fire (Toronto, 6/2023):


t=0:00”


t=0:01”


t=0:02”


t=0:03”


t=0:04”


t=0:05”


t=0:08”


t=0:11”

Η εξάπλωση της υγρής βενζίνης στο οδόστρωμα φαίνεται εμφανώς. Η ποιοτική διαφορά του παραπάνω παραδείγματος από την περίπτωση των Τεμπών είναι ότι το οδόστρωμα δεν είναι διαπερατό, οπότε η ποσότητα που απορροφάται από το έδαφος είναι αμελητέα. Στην περίπτωση των Τεμπών το έδαφος (σκύρα κάτω από τις σιδηροτροχιές και χώμα στα πρανή) είναι εξαιρετικά πορώδη και διαπερατά, οπότε ένα πολύ μεγάλο μέρος της ποσότητας που έπεσε στο έδαφος διηθήθηκε στο υπέδαφος.

Στις αντίστοιχες περιπτώσεις VCE **υγραερίων** (**προπάνιο, βουτάνιο**) το εύρημα από σχετικά πειράματα και η συνήθης παραδοχή στις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι ότι η ποσότητα του υγραερίου που συμμετέχει στο νέφος είναι 60% της συνολικής ποσότητας. Το υπόλοιπο 40% χύνεται στο έδαφος και καίγεται με τη μορφή του pool fire. Στους κώδικες σχεδιασμού σφαιρών και δεξαμενών υγραερίων, υπάρχουν υποχρεωτικά περιμετρικά τους αναχώματα που δημιουργούν μια λεκάνη, ώστε σε περίπτωση πλήρους ρήξης να μείνει το υγρό μέσα στη λεκάνη. Οι κώδικες αυτοί προβλέπουν ότι για τα υγραέρια η χωρητικότητα της λεκάνης πρέπει να είναι το 40% της χωρητικότητας του δοχείου ή της σφαίρας.

Στην περίπτωση που εξετάζεται, **οι υδρογονάνθρακες, όπως προκύπτει από τις αναλύσεις, είναι κάποιο μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων, άγνωστης ακριβούς σύστασης.**

Η πτητικότητα των αρωματικών είναι εμφανώς χαμηλότερη από αυτή των υγραερίων. Στην περίπτωση που εξετάζεται το νέφος προκλήθηκε από την απελευθέρωση ποσοτήτων υγρού εν κινήσει, οπότε αρχικά δημιουργήθηκε νέφος μικροσταγονιδίων (spray) και στη συνέχεια ατμών. Αυτό το γεγονός δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του νέφους από πλευράς έκρηξης/καύσης (detonation / deflagration).

Για το **μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων** (που από τα στοιχεία που υπάρχουν ήταν στο νέφος), γίνεται η παραδοχή ότι **η ποσότητα του νέφους (και του fireball) αντιπροσωπεύει το 30% της αρχικής ποσότητας** πού περιείχαν τα δοχεία, λόγω των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών (αν το συμβάν ήταν καλοκαίρι, η κατανομή θα ήταν 40% / 60%). **Το υπόλοιπο 70% χύθηκε στο έδαφος**:

Αχ. Μιχόπουλος ©

Μοντέλο	Μάζα υδρογονανθράκων	
	Στο fireball (30%)	Στο έδαφος (70%)
Cascade Release	3.8 Τόνοι	8.9 Τόνοι
HSE (Στατικό)	4.8 Τόνοι	11.2 Τόνοι
ALOHA (Στατικό)	5.0 Τόνοι	11.7 Τόνοι
TNO Yellow Book (Στατικό)	5.4 Τόνοι	12.6 Τόνοι
TNO Effects (Δυναμικό)	4.8 Τόνοι	11.2 Τόνοι

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η ποσότητα που κατέληξε στο έδαφος είναι μεγάλη για την έκταση που απλώθηκε (<1000 m^2).

Αυτή η ποσότητα χύθηκε επάνω στις γραμμές και στα πρανή εκατέρωθεν και στη συνέχεια έγινε ανάφλεξη της, πιθανόν 1.5-3 λεπτά μετά την πρόσκρουση.

Στη μελέτη του Ν. Κάρναβου γίνεται επανυπολογισμός της συγκέντρωσης ξυλολίου για το δείγμα 20, λαμβάνοντας υπ' όψη την υγρασία του εδάφους και τα ποσοτικά δεδομένα των φασμάτων. Από τους υπολογισμούς προκύπτει **πραγματική συγκέντρωση ξυλολίου 3.33 mg/kg στο σημείο της δειγματοληψίας**. Με δεδομένο ότι το σημείο αυτό ήταν σε απόσταση 20 μέτρων από το κεντρικό σημείο της διαρροής, προκύπτει ότι **στο σημείο αυτό η συγκέντρωση ήταν 24.4 mg/kg.** Η συγκέντρωση αυτή αντιστοιχεί στην ημερομηνία λήψης του δείγματος. Η αναγωγή της στην ημέρα του συμβάντος (λαμβάνοντας υπόψη την εξάτμιση που υπήρξε στις 29 μέρες που πέρασαν) δίνει **αρχική ποσότητα υδρογονανθράκων στο έδαφος 11.5 τόνων**. Η εκτίμηση αυτή πρακτικά συμφωνεί απόλυτα με τις ποσότητες του πίνακα.

Το γεγονός ότι μετά την σύγκρουση υπήρξαν κλήσεις στο 112 ατόμων που βρέθηκαν εν τέλει νεκρά λόγω της φωτιάς, αποκαλύπτει ότι η ανάφλεξη της ποσότητας αυτής έγινε με καθυστέρηση λίγων λεπτών. Από τις εκκλήσεις των ατόμων αυτών αποκαλύπτεται επίσης ότι η αδυναμία αναπνοής οφείλεται στις ψηλές συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων. **Σε περίπτωση που ένα άτομο αναγκάζεται να εισπνέει αέρα με ψηλές συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων, η αυτόματη ανακλαστική αντίδραση του οργανισμού είναι να μην αναπνεύσει, λόγω του "καψίματος" που προκαλούν στις αεροφόρες οδούς. Αυτό δημιουργεί την αίσθηση "έλλειψης οξυγόνου" που ανέφεραν πολλοί από τους επιβάτες.**

Φυσικά, **τα έλαια σιλικόνης δεν μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνα για την αδυναμία αναπνοής**. **Είναι μη πτητικά και άοσμα και δεν μπορούν να προκαλέσουν την αίσθηση "καψίματος"**.

Αχ. Μιχόπουλος ©

19. Δεδομένα επικινδυνότητας και υγιεινής αρωματικών υδρογονανθράκων

Η ποσότητα των υδρογονανθράκων που έπεσε στο έδαφος αρχικά ανεφλέγη. Ταυτόχρονα, ένα τμήμα της ποσότητας αυτής απορροφήθηκε από το πορώδες έδαφος. Μετά την κατάσβεση, η ποσότητα που είχε απορροφηθεί από το έδαφος άρχισε να εξατμίζεται. Οι ατμοί, όντας βαρύτεροι από τον ατμοσφαιρικό αέρα παρέμειναν στο επίπεδο του εδάφους. Δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί η ακριβής συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα τις πρώτες ώρες μετά την ολοκλήρωση της κατάσβεσης.

Στα Φύλλα Δεδομένων Ασφαλείας (MSDS) όλων των αρωματικών, αναφέρεται σαφώς ότι σε περίπτωση διαρροής στο έδαφος απαγορεύεται ρητά η χρήση εργαλείων που παράγουν σπινθήρες.

Για το Βενζόλιο:

Hazard statements	:	Highly flammable liquid and vapor. Causes skin irritation. Causes serious eye irritation. May cause genetic defects. May cause cancer. Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure. May form explosive mixtures with air.

Large spill	:	Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Use spark-proof tools and explosion-proof equipment. Approach release from upwind. Prevent entry into sewers, water courses, basements or confined areas. Wash spillages into an effluent treatment plant or proceed as follows. Contain and collect spillage with non-combustible, absorbent material e.g. sand, earth, vermiculite or diatomaceous earth and place in container for disposal according to local regulations (see Section 13). Dispose of via a licensed waste disposal contractor. Contaminated absorbent material may pose the same hazard as the spilled product. Note: see Section 1 for emergency contact information and Section 13 for waste disposal.

Prevention	:	Obtain special instructions before use. Wear protective gloves. Wear protective clothing. Wear eye or face protection. Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking. Use explosion-proof electrical, ventilating or lighting equipment. Use non-sparking tools. Take action to prevent static discharges. Keep container tightly closed. Do not breathe vapor. Do not eat, drink or smoke when using this product. Wash thoroughly after handling.

Για το τολουόλιο:

Methods and material for containment and cleaning up:

Wear protective eyeware, gloves, and clothing. Refer to Section 8.Always obey local regulations.If necessary use trained response staff or contractor. Evacuate personnel to safe areas. Containerize for disposal. Refer to Section 13.Keep in suitable closed containers for disposal.Remove all sources of ignition.Have extinguishing agent available in case of fire. Use non-sparking equipment.

Για τα ξυλόλια:

6. Accidental Release Measures

- Keep public away. Prevent additional discharge of material, if possible to do so without hazard.
- Prevent spills from entering sewers, watercourses or low areas.
- Contain spilled liquid with sand or earth. Do not use combustible materials such as sawdust.
- Recover by pumping (use an explosion proof motor or hand pump), or by using a suitable absorbent.
- Warn occupants and shipping in surrounding and downwind areas of fire and explosion hazard and request all to stay clear. Remove from surface by skimming or with suitable absorbents.
- If allowed by local authorities and environmental agencies, sinking and/or suitable dispersants may be used in unconfined waters.
- Notify the appropriate authorities immediately.

Αχ. Μιχόπουλος ©

- Take all additional action necessary to prevent and remedy the adverse effects of the spill.
- Provide adequate Ventilation.
- Remove all ignition sources.
- Collect leaking and spilled liquid in sealable containers as far as possible.
- Absorb remaining liquid in sand or inert absorbent and remove to safe place.
- (Extra personal protection: filter respirator for organic gases and vapours.)

Για μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων:

7.1. Precautions for safe handling

Additional hazards when processed	: Handle empty containers with care because residual vapors are flammable.
Precautions for safe handling	: Wash hands and other exposed areas with mild soap and water before eating, drinking or smoking and when leaving work. Provide good ventilation in process area to prevent formation of vapor. No bare lights. No smoking. Take precautionary measures against static discharge. Use only non-sparking tools. Use only outdoors or in a well-ventilated area. Avoid breathing dust/fume/gas/mist/vapors/spray. Obtain special instructions before use. Do not handle until all safety precautions have been read and understood.
Hygiene measures	: Wash ... thoroughly after handling.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Technical measures	: Proper grounding procedures to avoid static electricity should be followed. Ground/bond container and receiving equipment. Use explosion-proof electrical/ventilating/lighting/… equipment.
Storage conditions	: Keep only in the original container in a cool, well ventilated place away from : Keep container tightly closed.

Αν λάβουμε υπ' όψη τα αναγραφόμενα στα MSDS, που ρητά αναφέρεται ότι σε τέτοιου τύπου ενδεχόμενο (spill) δεν πρέπει να γίνεται χρήση εργαλείων που παράγουν σπινθήρες, εκτιμάται ότι **η συγκέντρωση στον αέρα πάνω από την περιοχή που έρευσαν οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες** (σιδηροτροχιές και πρανή εκατέρωθεν των σιδηροτροχιών) τις πρώτες ώρες, **ήταν πάνω από το LEL** (κάτω όριο εκρηκτικότητας) που είναι της τάξης του 1%, ή **10000ppm**.

Όσον αφορά τα στοιχεία επικινδυνότητας των εν λόγω ουσιών, στα αντίστοιχα MSDS αναφέρεται ρητά ότι οι εργαζόμενοι πρέπει να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι και να έχουν τον αντίστοιχο εξοπλισμό προσωπικής ασφάλειας (κατάλληλα ρούχα, γάντια, προστασία ματιών, εξοπλισμό αναπνοής).

Τα όρια έκθεσης σε συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα, σύμφωνα με τα όρια που θέτουν οι κανονισμοί της ΕΕ, των ΗΠΑ και τα MSDS, έχουν ως εξής:

	STEL* (15 min)		LTEL** / TWA*** (8 hours)	
	ΕΕ, 2004	USA, 2019	ΕΕ, 2004	USA, 2019
Βενζόλιο	-	2.5 ppm	1 ppm	0.5 ppm
Τολουόλιο	100 ppm	150 ppm	50 ppm	100 ppm
Ξυλόλιο	100 ppm	150 ppm	50 ppm	100 ppm

* STEL: Short Term Exposure Limit, Όριο Έκθεσης μικρής διάρκειας, 15 λεπτών

** LTEL: Long Term Exposure Limit, Όριο Έκθεσης 8ώρου

*** TWA: Time Weighted Average, Μέσος όρος Έκθεσης 8ώρου

Από τα παραπάνω στοιχεία γίνεται σαφές ότι σε περίπτωση έκχυσης στο έδαφος (spill) οι απαιτούμενες προφυλάξεις βάσει των υπαρχόντων κανονισμών της ΕΕ, υποδηλούν ότι **οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα πάνω από την περιοχή του συμβάντος είναι κατά πολύ ψηλότερες από τα θεσπισμένα όρια έκθεσης, είτε 15λεπτης, είτε 8ώρου**. Εν ολίγοις, η εργασία στην περιοχή του συμβάντος ήταν αφ' ενός επικίνδυνη λόγω πιθανής έκρηξης, αφ' ετέρου η αναπνοή ήταν περίπου αδύνατη.

Πρέπει να επισημανθεί ότι μαρτυρίες επιζώντων αναφέρουν «οσμή που θυμίζει οσμή καθαριστηρίου», και «έντονο κάψιμο στον φάρυγγα», **που παραπέμπουν στην παρουσία υδρογονανθράκων**.

Για τους παραπάνω λόγους εκτιμάται ότι πάρθηκε η απόφαση εξυγίανσης της περιοχής με την αφαίρεση του επιφανειακού στρώματος του χώματος και αντικατάσταση του με καθαρό χώμα.

Αχ. Μιχόπουλος ©

20. Πρόσθετα δεδομένα καύσης αρωματικών υδρογονανθράκων

Πρόσθετο βασικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψη είναι η ιδιαιτερότητα των αρωματικών υδρογονανθράκων κατά την καύση τους, δηλαδή η έντονη παραγωγή μικροσωματιδίων άκαυστου άνθρακα (κάπνας, soot). Αυτό αναφέρεται σαφώς και εκτενώς στη βιβλιογραφία.

Από την ανάλυση του βίντεο της βόρειας κάμερας βλέπουμε σαφώς να εμφανίζεται ένα μαύρο «πέπλο» που καλύπτει τις φλόγες που συνεχίζουν να καίνε στο εσωτερικό του νέφους:

Οι εικόνες που εμφανίζονται είναι συνεχόμενες λήψεις με χρονική απόσταση 0.12 s και συμβαίνουν **μετά την κορύφωση της έντασης** του φαινομένου (6^{o} δευτερόλεπτο).

Όταν η διαθέσιμη ενέργεια βαίνει έντονα μειούμενη, μετά την κορύφωση του φαινομένου, τα μόρια που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα του νέφους καίγονται μερικώς, δηλαδή η διαθέσιμη ενέργεια αναλώνεται από την καύση των ατόμων υδρογόνου που έχουν σχετικά μικρές απαιτήσεις ενέργειας (**92 kJ/mol**) ενώ του άνθρακα μεγαλύτερες (**232 kJ/mol**).



Έτσι ερμηνεύεται η επιλεκτική ανάλωση του υδρογόνου που αφήνει σαν υπόλειμμα τα μικροσωματίδια του άνθρακα.

Το παραπάνω φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες, λόγω των επιπρόσθετων μεγάλων απαιτήσεων ενέργειας για το σπάσιμο του πολύ σταθερού αρωματικού δακτυλίου.

Η διαφορά της εικόνας καύσης εξανίου και βενζολίου είναι εμφανής και σε εργαστηριακές συνθήκες. Η έντονη παραγωγή κάπνας κατά την καύση του βενζολίου θεωρείται ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της καύσης του βενζολίου.

ΚΑΥΣΗ ΕΞΑΝΙΟΥ



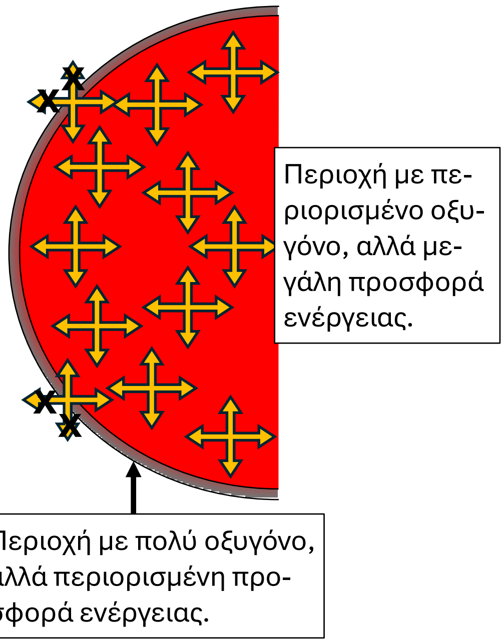
ΚΑΥΣΗ ΒΕΝΖΟΛΙΟΥ



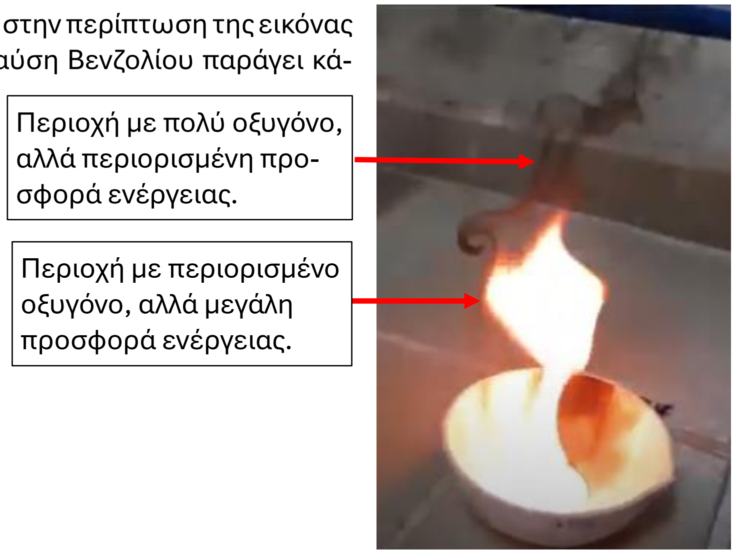
Αχ. Μιχόπουλος ©

Η ερμηνεία του γεγονότος της έντονης εμφάνισης κάπνας στην εξωτερική στοιβάδα του fireball δίνεται στη συνέχεια:

- Ένα μόριο για να μπορέσει να ολοκληρώσει τα βήματα (>100) πρέπει σε κάθε βήμα να υπερβεί το εμπόδιο που βάζει η απαίτηση να βρει την διαθέσιμη ενέργεια ενεργοποίησης.
- Στον πυρήνα του νέφους, ένα μόριο δέχεται ενέργεια από όλες τις πιθανές κατευθύνσεις από τα άλλα μόρια που έχουν προηγηθεί, που είναι σε φάση έκλυσης της ενέργειας που παράγεται από την καύση τους.
- Τα μόρια που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα του fireball δέχονται ενέργεια μόνο από το εσωτερικό. Έτσι, παρά το γεγονός ότι οι ποσότητες διαθέσιμου οξυγόνου είναι πολλαπλάσιες των αναγκών για ολοκλήρωση της καύσης, η διαθέσιμη ενέργεια είναι κάτω του 50% αυτής που υπάρχει για τα μόρια του εσωτερικού του νέφους.



- Ο αρωματικός δακτύλιος είναι εξαιρετικά σταθερός, δηλαδή απαιτείται η ανάλωση μεγάλου ποσού ενέργειας για να επιτευχθεί η διάρρηξη του. Έτσι, στον φλοιό του νέφους αρωματικών η εμφάνιση της έντονης κάπνας ερμηνεύεται από την έντονη έλλειψη της ενέργειας που απαιτείται για την υπέρβαση των εμποδίων που βάζει η ενέργεια ενεργοποίησης του κάθε βήματος.
- Στην περιοχή του φλοιού είναι εξαιρετικά πιθανό να σχηματίζονται και τα διάφορα μόρια πολυαρωματικών υδρογονανθράκων (αποτέλεσμα της ατελούς καύσης αρωματικών) που βρέθηκαν σε πολλά δείγματα, σύμφωνα με τις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ.
- Η παραπάνω ερμηνεία έχει εφαρμογή και στην περίπτωση της εικόνας από την εργαστηριακή δοκιμή, όπου η καύση Βενζολίου παράγει κάπνα στην απόληξη της φλόγας:



Αχ. Μιχόπουλος ©

21. Έναρξη και εξέλιξη της φωτιάς στο έδαφος

Από την ανάλυση που έγινε σε βίντεο επιτήρησης του αυτοκινητοδρόμου, προκύπτουν πολλά στοιχεία σχετικά με την χρονική στιγμή έναρξης της φωτιάς στο έδαφος, την ένταση και έκταση της. Όλα τα σχετικά στοιχεία συσχέτισης εικόνας και ηχητικών δεδομένων από τις αυτόματες κλήσεις στο 112 εμφανίζονται με μορφή πίνακα στο Παράρτημα Δ.

Τα κύρια στοιχεία που προκύπτουν είναι:

1. Κομβικό στοιχείο αυτής της διερεύνησης είναι η στιγμή έναρξης της φωτιάς. Στον χρονικό ορίζοντα, η χρονική στιγμή 00:00" ονομάζεται η στιγμή της σύγκρουσης. **Η έναρξη της φωτιάς στο έδαφος, με βάση το βίντεο της ΠΑΘΕ, τοποθετείται σε χρόνο 01:22" μετά την σύγκρουση.** Το γεγονός αυτό πρέπει να συνεκτιμηθεί με τα ηχητικά δεδομένα που υπάρχουν από τις καταγραφές του 112 (και φαίνεται να είναι σε αρμονία με τα ηχητικά δεδομένα όσον αφορά το χρόνο που παρήλθε για την εκδήλωση της φωτιάς), όπου αποκαλύπτεται ότι άτομα που επεβίωσαν της σύγκρουσης ακούγονται να ζητούν βοήθεια, και εν τέλει βρέθηκαν νεκρά λόγω απανθράκωσης.
2. Από το διαθέσιμο βίντεο της κάμερας επιτήρησης κυκλοφορίας της ΠΑΘΕ **φαίνεται ξεκάθαρα μια μικρή φλεγόμενη ροή να κατηφορίζει στο πρανές** (23:21:33"), ή 03:05" μετά την σύγκρουση. **Στις (23:25:09"), 06:41" μετά την σύγκρουση, ή 05:19" μετά την έναρξη της φωτιάς στο έδαφος, η ροή του φλεγόμενου υγρού γίνεται πολύ έντονη.** Αυτό το γεγονός μπορεί να ερμηνευτεί μόνο αν τα δοχεία είναι πλαστικές παλετοδεξαμενές και η μία δεξαμενή δεν διερράγη με την σύγκρουση, αλλά μετά από έκθεση σε φωτιά, που την έλιωσε και διέρρευσε το περιεχόμενο της.
3. Η φωτιά στο έδαφος αρχικά εμφανίζεται στην έξοδο του τούνελ, στη συνέχεια εμφανίζονται καπνοί (όχι φλόγες) κατά μήκος των σιδηροτροχιών (βορειότερα), και τέλος (09:35") εμφανίζονται οι πρώτες φλόγες από το δυτικό πρανές, όπου είχαν καταλήξει σε τριγωνική διάταξη το 1ο βαγόνι, το κυλικείο και ανάμεσα τους το μεγαλύτερο μέρος των συντριμμιών της μηχανής της Επιβατικής.
4. Επισημαίνεται ότι οι θάνατοι λόγω απανθράκωσης αποδίδονται κυρίως στη φωτιά και πολύ λίγο στο fireball, παρά την ένταση της ακτινοβολίας, λόγω της μικρής διάρκειας του φαινομένου. Οι δύο αμαξοστοιχίες είχαν σταματήσει ικανό χρόνο πριν τη στιγμή εκδήλωσης της φωτιάς. Η φωτιά κατά πάσα πιθανότητα προκλήθηκε από την επαφή του νέφους υδρογονανθράκων με επιφάνεια που είχε υπερθερμανθεί λόγω των τριβών που υπήρξαν και λειτούργησε σαν θερμή πηγή, όπως ένας σπινθήρας.
5. Είναι προφανές ότι σε πρώτη φάση τα έλαια σιλικόνης δεν είχαν καμία συμμετοχή στην αρχική έναυση (λόγω της πολύ ψηλής θερμοκρασίας ανάφλεξης).
6. Η θεωρία που διατυπώθηκε περί μικροσταγονιδίων που αναφλέγονται δεν βρίσκει καμία εφαρμογή στην προκειμένη περίπτωση, διότι ακόμη και αν είχαν δημιουργηθεί με την πρόσκρουση, ο χρόνος κατακάθισης τους είναι μικρότερος των 10 δευτερολέπτων, οπότε **την στιγμή εκδήλωσης της φωτιάς δεν υπήρχε η πιθανότητα ύπαρξης ελαίων στην ατμόσφαιρα**. Μετά την εκδήλωση της φωτιάς, η ανάφλεξη ποσοτήτων ελαίων θεωρείται εφικτή, εφόσον εκτίθενται στις φλόγες.

Έγινε μια προσπάθεια αποτύπωσης της έντασης της φωτιάς με κριτήριο το εμφανιζόμενο μέγεθος της φλόγας. Υιοθετήθηκε μια αυθαίρετη κλίμακα έντασης (1/2/3) και καταγραφή των εκτιμώμενων τιμών έντασης που αποτυπώνονται στο διάγραμμα:

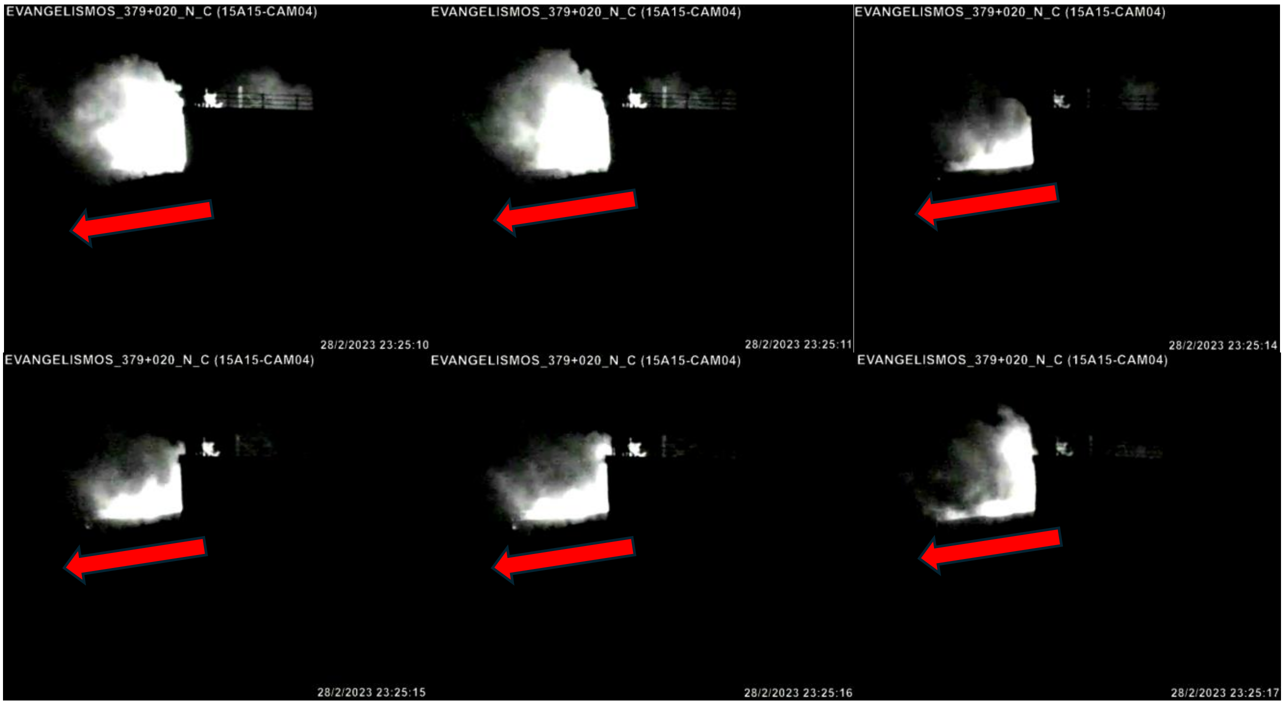


Αχ. Μιχόπουλος ©

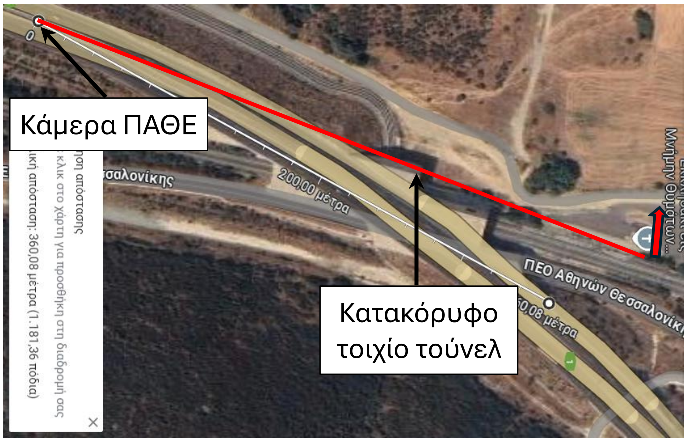
Από το διάγραμμα φαίνεται μια έντονη μεταβλητότητα της έντασης, που αποδίδεται σε αντίστοιχη μεταβλητότητα παροχής αναφλέξιμου υλικού. Δεδομένου ότι το συμβάν έχει γίνει σε ανοιχτό χώρο, η παροχή οξυγόνου είναι πρακτικά απεριόριστη, και αυτή δεν είναι ο περιοριστικός παράγοντας στο ρυθμό καύσης. Η μεταβλητότητα αυτή ερμηνεύεται από την μεταβολή στη διαθεσιμότητα καύσιμης ύλης.

Η φωτιά στο έδαφος εμφανίζεται για πρώτη φορά στις 23:19:50, 1:07 μετά το τέλος της πυρόσφαιρας. Η ροή του υγρού εμφανίζεται για πρώτη φορά στις 23:21:33, 1:43 μετά την έναρξη της φωτιάς.

Από τα φωτογραφικά δεδομένα που ανέκυψαν από την κάμερα επιτήρησης κυκλοφορίας αποκαλύπτεται εμφανώς η ροή καυσίμου στο πρανές, αριστερά από το κατακόρυφο τοιχίο του τούνελ:



Από τις παραπάνω φωτογραφίες αποκαλύπτεται ότι εκτός από τις ποσότητες που χύθηκαν στο έδαφος κατά το σχηματισμό της πυρόσφαιρας (που υπακούουν στην κατανομή 30/70) υπάρχει και 1 δοχείο που διερράγη λόγω έκθεσης σε φλόγα, 3:05" μετά τη σύγκρουση. Το πλαστικό δοχείο με πάχος τοιχώματος 3-4 χιλιοστών είναι τελείως φυσιολογικό μετά από έκθεση σε εξωτερική φλόγα να διαρραγεί και όλο το περιεχόμενο να χυθεί. Η ακριβής θέση της ροής δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Ωστόσο, το πλέον πιθανό σημείο φαίνεται στην κάτοψη και ενδεχόμενα σχετίζεται με το δοχείο (;) που φάνηκε παγιδευμένο κάτω από το βαγόνι Β3. Το έδαφος απορρόφησε μία ποσότητα, μετά τον κορεσμό του η ποσότητα που δεν ήταν πλέον εφικτό να απορροφηθεί κύλησε στην κατωφέρεια μέχρι τον επαρχιακό δρόμο. Η εμφανής αφαίρεση του επιφανειακού στρώματος χώματος στο συγκεκριμένου σημείου την επομένη μέρα πιθανότατα έγινε λόγω έντονης οσμής (εξυγίανση ρυπασμένου χώματος από υδρογονάνθρακες).





Αχ. Μιχόπουλος ©

Στις παρακάτω φωτογραφίες επισημαίνονται οι περιοχές που επηρεάστηκαν στον μέγιστο βαθμό από τη φωτιά στο έδαφος:





Αχ. Μιχόπουλος ©

22. Εκτίμηση της μάζας υδρογονανθράκων στον συρμό

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, προκύπτουν δύο προσεγγίσεις για την εκτίμηση της συνολικής μάζας αρωματικών υδρογονανθράκων στο συρμό.

Η πρώτη προσέγγιση προκύπτει από την κατανομή 30%/70% μεταξύ αέριας και υγρής φάσης (η συνήθης παραδοχή στις μελέτες ΒΑΜΕ για βενζίνη και παρόμοια κλάσματα).

Η συνολική ποσότητα στο συρμό από την πρώτη προσέγγιση ήταν το άθροισμα της ποσότητας του νέφους και της ποσότητας που χύθηκε στο έδαφος, προσαυξημένη κατά 1 τόνο από το δοχείο που διερράγη, 3:05" μετά τη σύγκρουση δηλαδή **η συνολική ποσότητα που μετέφερε η Εμπορική αμαξοστοιχία ήταν 13.7-19 τόνοι**, σύμφωνα με τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν:

Μοντέλο	Μάζα υδρογονανθράκων			
	Στο Fireball (30%)	Στο έδαφος (70%)	Στο έδαφος 3:05"	Στο συρμό Σύνολο
Cascade Release	3.8 Τόνοι	8.9 Τόνοι	1 Τόνος	13.7 Τόνοι
HSE (Στατικό)	4.8 Τόνοι	11.2 Τόνοι	1 Τόνος	17.0 Τόνοι
ALOHA (Στατικό)	5.0 Τόνοι	11.7 Τόνοι	1 Τόνος	17.7 Τόνοι
TNO Yellow Book (Στατικό)	5.4 Τόνοι	12.6 Τόνοι	1 Τόνος	19.0 Τόνοι
TNO Effects (Δυναμικό)	4.8 Τόνοι	11.2 Τόνοι	1 Τόνος	17.0 Τόνοι

Λαμβάνοντας υπόψη το ειδικό βάρος των υγρών υδρογονανθράκων (0.87), οι ποσότητες αυτές για να μεταφερθούν χρειάζονται 15-20 δοχεία (IBCs) χωρητικότητας 1 m^3.

Αχ. Μιχόπουλος ©

23. Θέση των υδρογονανθράκων στον συρμό

Η ποσότητα των υδρογονανθράκων, με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, **προκύπτει ότι ήταν στην πρώτη πλατφόρμα σε πλαστικά δοχεία (IBCs) χωρητικότητας 1m^3 εκάστου**. Έτσι ερμηνεύεται το γεγονός ότι ο σχηματισμός του fireball προέκυψε από **τρεις διακριτές προσκρούσεις των λαμαρινών που λόγω αδράνειας έπεσαν στα δοχεία και τα διέρρηξαν**. Οι λαμαρίνες ήταν στην πραγματικότητα τοποθετημένες στην 2^η και 3^η πλατφόρμα. Το συνολικό βάρος των λαμαρινών ήταν 162 τόνοι, με επιτρεπόμενο φορτίο ανά πλατφόρμα 200 τόνων. Η κατανομή τους σε 2 πλατφόρμες ήταν εφικτή. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει από το γεγονός ότι στην 1^η πλατφόρμα δεν υπάρχουν υπολείμματα από τα συρματόσχοινα πρόσδεσης των λαμαρινών, ενώ υπολείμματα υπάρχουν στην 2^η και 3^η πλατφόρμα. Οι φωτογραφίες τεκμηριώνουν αυτό το σενάριο:

Κανένα ίχνος συρματόσχοινου πρόσδεσης λαμαρινών, 1η Πλατφόρμα:







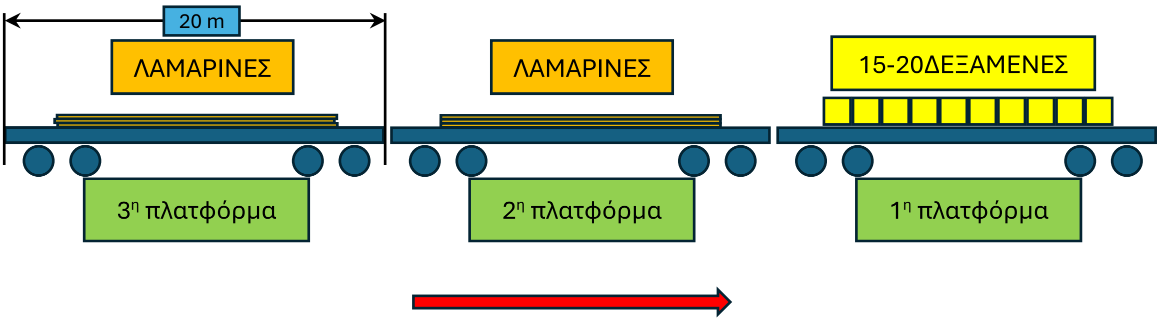
Αχ. Μιχόπουλος ©

Ορατά τα υπολείμματα των συρματόσχοινων πρόσδεσης λαμαρινών, $2^{η}$, $3^{η}$ πλατφόρμα:





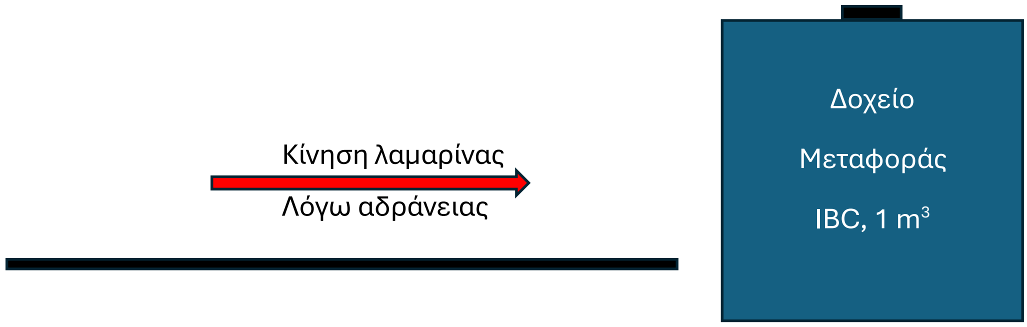
Σχηματικά, από την συνεκτίμηση των δεδομένων, η πιθανότερη διάταξη τοποθέτησης των φορτίων είναι (τα δοχεία τοποθετημένα σε 2 σειρές):

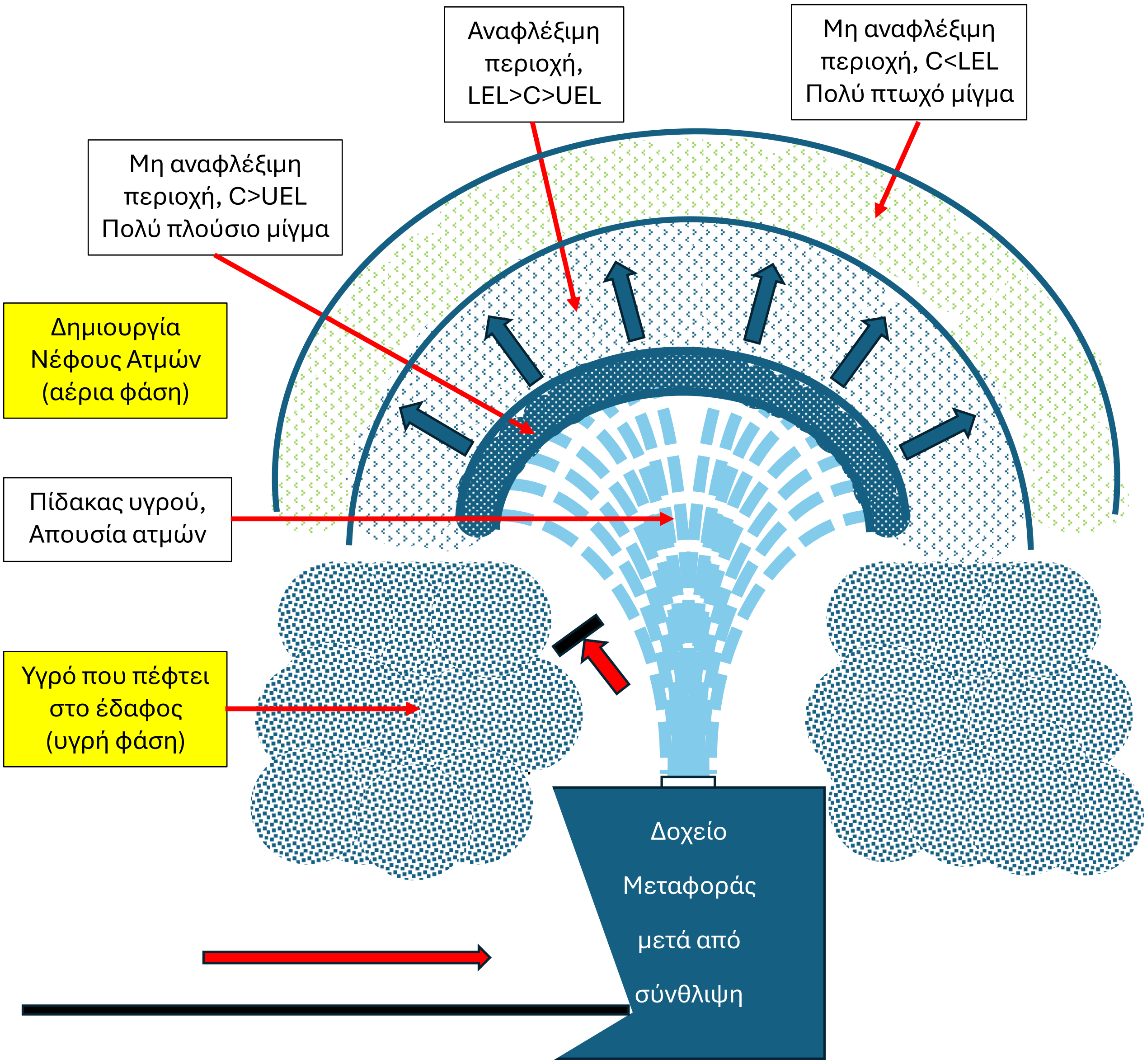


Κατεύθυνση κίνησης Εμπορικής αμαξοστοιχίας

Αχ. Μιχόπουλος ©

Το μοτίβο της πρόσκρουσης ενός δοχείου και εκτόξευσης υγρού και πρόκλησης αερίου νέφους δίνεται στη συνέχεια:





Αχ. Μιχόπουλος ©

Τα ευρήματα από την έκθεση της Anubis που σχετίζονται με την ενδεχόμενη μεταφορά φορτίου αυτού του τύπου (που παρουσία τους σε κάποιο συρμό δεν δικαιολογούνται) φαίνονται στη συνέχεια:

- Κομμάτι από δίχτυ μεταφοράς Cargo
- Υπολείμματα παλετών
- Υπολείμματα ιμάντων πρόσδεσης φορτίου





Κομμάτι από δίχτυ πρόσδεσης φορτίου



Υπολείμματα ιμάντων πρόσδεσης φορτίου

Αχ. Μιχόπουλος ©

Όσον αφορά τα ευρήματα επί του πεδίου (πειστήρια που σχετίζονται με την μεταφορά αυτού του φορτίου), τα υπολείμματα των δοχείων μεταφοράς πιθανότατα είναι τα αντικείμενα που φαίνεται να έχουν συλλεχθεί από Υπαλλήλους της Hellenic Train και απομακρυνθεί από το πεδίο (πραγματογνωμοσύνη του Β. Κοκοτσάκη):









Επιλεκτική συλλογή και απομάκρυνση αντικειμένων, ενδεχόμενα σχετιζόμενα με παράνομη μεταφορά.

Αχ. Μιχόπουλος ©

24. Η επιβράδυνση της Εμπορικής αμαξοστοιχίας

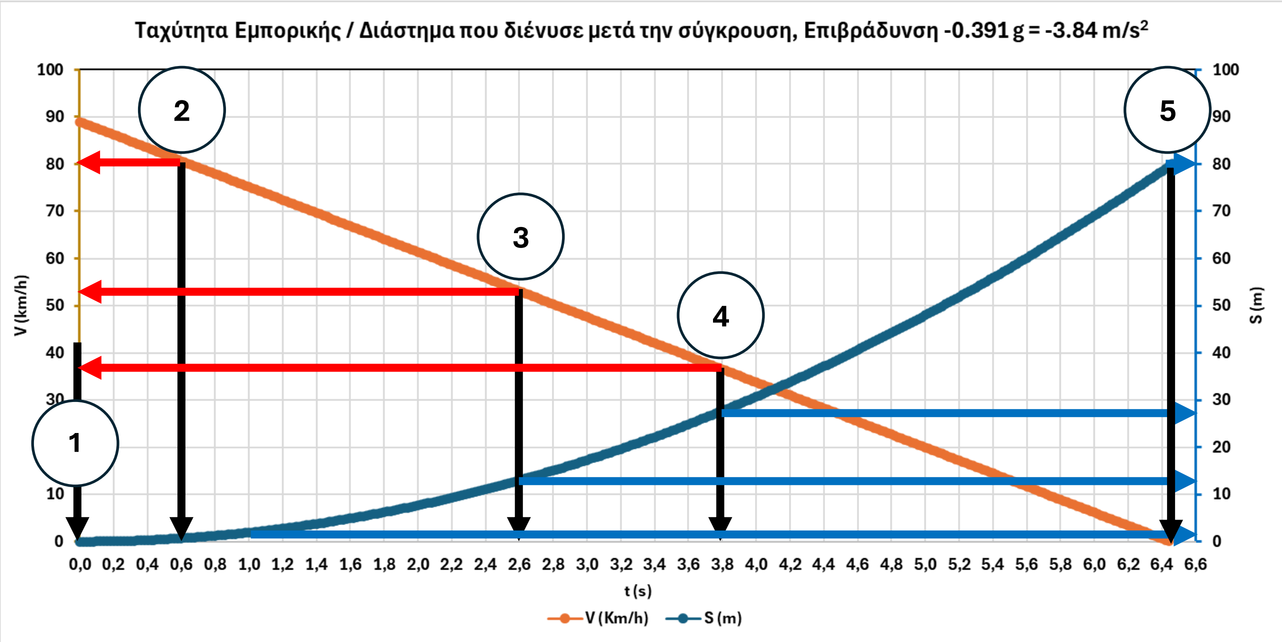
Η ταχύτητα της Εμπορικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν 89.9 Km/h.

Η ανάλυση αυτή αφορά το τμήμα της αμαξοστοιχίας που παρέμεινε στις ράγες. Μέχρι να σταματήσει η κίνηση της, διένυσε ~80 m (το συνολικό μήκος των 3 πλατφορμών+20 m).

Δεν υπάρχει το λεπτομερές προφίλ ταχύτητας για να γίνει υπολογισμός της μέγιστης επιβράδυνσης, οπότε γίνεται η παραδοχή της σταθερής επιβράδυνσης.

Προκύπτει χρόνος από την πρόσκρουση μέχρι να μηδενιστεί η ταχύτητα του εμπορικού συρμού 6.4 s και μέση επιβράδυνση **-0.391 g = -3.84 m/s²**.

Η επιβράδυνση των δύο μηχανών είναι προφανώς πολλαπλάσια, πιθανότατα της τάξης των 5-16 g.



1. Αρχική πρόσκρουση, Βραχυκύκλωμα, Διακοπή παροχής ρεύματος.
   T=0 s, V=89 km/h=24.7 m/s, s=0

2. Έναρξη ανάφλεξης αερίου νέφους και δημιουργίας πρωτογενούς fireball.
   T=0.6 s, V=80.7 km/h=22.4 m/s, s=0.7 m.

3. Πρώτη ανατροφοδοσία του fireball από νέα πρόσκρουση.
   T=2.6 s, V=53.1 km/h=14.7 m/s, s=13 m.

4. Δεύτερη ανατροφοδοσία του fireball από νέα πρόσκρουση.
   T=3.8 s, V=36.5 km/h=10.1 m/s, s=28 m.

5. Πλήρης ακινητοποίηση της Εμπορικής.
   T=6.5 s, V=0.0 km/h=0 m/s, s=80 m.

Αχ. Μιχόπουλος ©

25. Η επιβράδυνση της Επιβατικής αμαξοστοιχίας

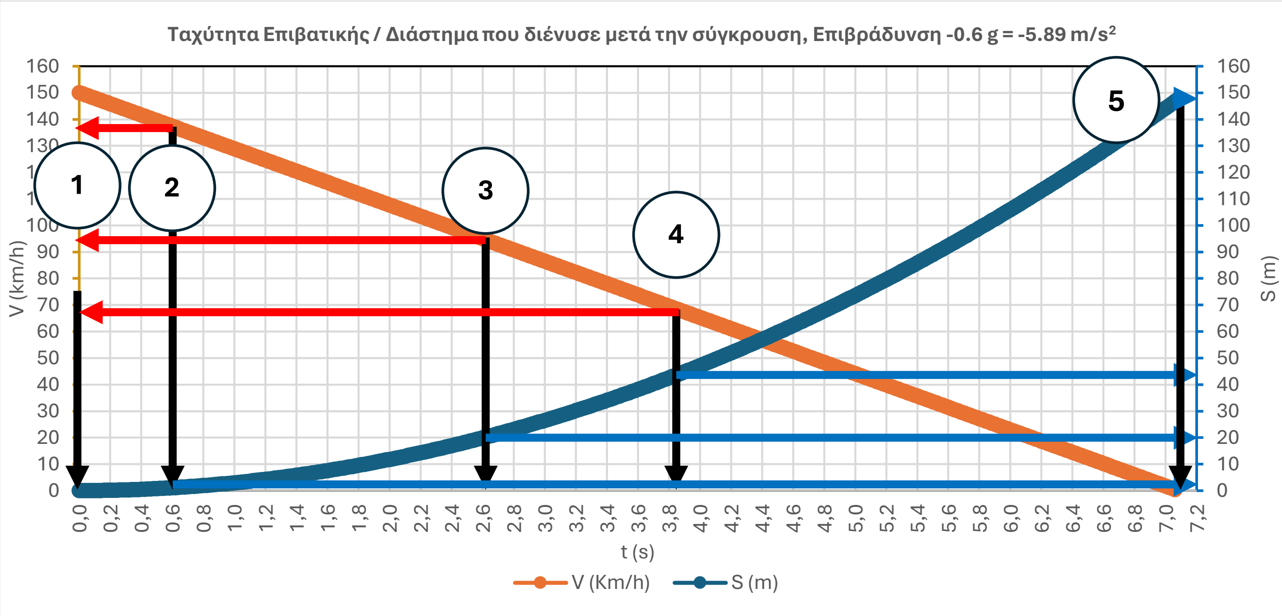
Η ταχύτητα της Επιβατικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν 150 Km/h.

Η ανάλυση αυτή αφορά το τμήμα της αμαξοστοιχίας που παρέμεινε στις ράγες. Μέχρι να σταματήσει η κίνηση της, διένυσε ~145 m (από τον αριθμό των βαγονιών που εκτροχιάστηκαν σε συνδυασμό με το μήκος τους).

Δεν υπάρχει το λεπτομερές προφίλ ταχύτητας για να γίνει υπολογισμός της μέγιστης επιβράδυνσης, οπότε γίνεται η παραδοχή της σταθερής επιβράδυνσης.

Προκύπτει χρόνος από την πρόσκρουση μέχρι να μηδενιστεί η ταχύτητα του εμπορικού συρμού 7.1 s και μέση επιβράδυνση **-0.6 g = -5.89 m/s²**.

Η επιβράδυνση της μηχανής είναι προφανώς πολλαπλάσια πιθανότατα της τάξης των 5-16 g.



1. Αρχική πρόσκρουση. Βραχυκύκλωμα. Διακοπή παροχής ρεύματος. T=0 s, V=150 km/h=41.7 m/s, s=0
2. Έναρξη ανάφλεξης αερίου νέφους και δημιουργίας πρωτογενούς fireball. T=0.6 s, V=137 km/h=38.8 m/s, s=2.5 m.
3. Πρώτη ανατροφοδοσία του fireball από νέα πρόσκρουση. T=2.6 s, V=94 km/h=26 m/s, s=20 m.
4. Δεύτερη ανατροφοδοσία του fireball από νέα πρόσκρουση. T=3.8 s, V=68 km/h=19 m/s, s=46 m.
5. Πλήρης ακινητοποίηση της Επιβατικής. T=7.1 s, V=0 km/h=0 m/s, s=145 m.

Αχ. Μιχόπουλος ©

26. Η ορμή και η κινητική ενέργεια των αμαξοστοιχιών

Η ταχύτητα της Εμπορικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν 89.9 Km/h = 24.97 m/s.

Η μάζα της Εμπορικής αμαξοστοιχίας ήταν 778000 kg(m).

Η ορμή της Εμπορικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν:

$$P_{Εμπορική} = m_{Εμπορική} \times V_{Εμπορική} = 778000 \text{ kg} \times 24.97 \text{ m/s} = 19428389 \text{ kg} \times \text{m/s}$$

Η κινητική ενέργεια της Εμπορικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν:

$$E_{Εμπορική} = ½\, m_{Εμπορική} \times (V_{Εμπορική})^2 = 778000 \text{ kg} \times (24.97 \text{ m/s})^2 = 242585022 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$$

Η ταχύτητα της Επιβατικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν 150 Km/h = 41.67 m/s.

Η μάζα της Επιβατικής αμαξοστοιχίας ήταν 493835 kg.

Η ορμή της Επιβατικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν:

$$P_{Επιβατική} = m_{Επιβατική} \times V_{Επιβατική} = 493835 \text{ kg} \times 41.67 \text{ m/s} = 20576458 \text{ kg} \times \text{m/s}$$

Η κινητική ενέργεια της Επιβατικής αμαξοστοιχίας τη στιγμή της πρόσκρουσης ήταν:

$$E_{Επιβατική} = ½\, m_{Επιβατική} \times (V_{Επιβατική})^2 = 493835 \text{ kg} \times (41.67 \text{ m/s})^2 = 428676215 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$$

Από τη σύγκριση των ορμών προκύπτει ότι οι δύο συρμοί είχαν συγκρίσιμες τιμές ορμής:

$$(P_{Επιβατική}) / (P_{Εμπορική}) = 1.06$$

Από τη σύγκριση των κινητικών ενεργειών προκύπτει ότι ο Επιβατικός συρμός είχε εμφανώς μεγαλύτερη τιμή κινητικής ενέργειας:

$$(E_{Επιβατική}) / (E_{Εμπορική}) = 1.77$$

Στο ερώτημα αν η πρόκληση της πυρόσφαιρας μπορεί να αποδοθεί στην ενέργεια που απελευθερώθηκε εξ αιτίας της πρόσκρουσης, οι απαντήσεις της επιστήμης έχουν ως εξής:

- Η συνολική ενέργεια που απελευθερώθηκε είναι πραγματικά πολύ μεγάλη. Αυτή η ενέργεια αναλώθηκε στην ολοκληρωτική παραμόρφωση της 1ης ηλεκτρομηχανής τής Εμπορικής αμαξοστοιχίας, στον πλήρη διαμελισμό της ηλεκτρομηχανής τής Επιβατικής αμαξοστοιχίας και παραμόρφωση βαγονιών. Η ενέργεια αυτή αναλώθηκε και με τη μορφή θερμικής ενέργειας (ανύψωση θερμοκρασίας των μετάλλων) για την παραμόρφωση ή τον διαμελισμό των μεταλλικών στοιχείων.
- Η πυρόσφαιρα φωτοβολεί λόγω καύσης μιας σημαντικής ποσότητας μάζας (**ύλης**), και όχι λόγω μετατροπής της κινητικής ενέργειας σε θερμική ενέργεια. Δεν υπάρχει κάποιος “μαγικός” μηχανισμός μετατροπής της κινητικής ενέργειας σε φωτόνια που εκπέμπονται σε κάποια περιοχή του φάσματος.
- Αυτό που φαίνεται στα βίντεο σαν φωτιά είναι τα διάπυρα σωματίδια άνθρακα σε κατάσταση διέγερσης κατά τη διάρκεια της αντίδρασης καύσης. Αυτή η διέγερση προκαλεί την εκπομπή ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, τελείως συγκεκριμένες για το άτομο που διεγείρεται. Το πορτοκαλλοκόκινο χρώμα που εμφανίζεται στην πυρόσφαιρα είναι χαρακτηριστικό της διέγερσης ατόμων άνθρακα όταν το μίγμα είναι πλούσιο σε καύσιμο (όχι στοιχειομετρική καύση). Όταν η καύση είναι στοιχειομετρική, το χρώμα της φλόγας μετατοπίζεται στο ιώδες.
- Η ενέργεια που απελευθερώνεται στην πυρόσφαιρα και στην φωτιά που έπεται, είναι η χημική ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στα μόρια των υδρογονανθράκων και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια λόγω της καύσης.
- Υπάρχουν περιπτώσεις πρόκλησης πυρόσφαιρας χωρίς την εμπλοκή καυσίμου. Αφορά τις περιπτώσεις μετεωριτών, τη στιγμή εισόδου τους στην ανώτερη ατμόσφαιρα με ταχύτητες μεγαλύτερες από 30 φορές την ταχύτητα του ήχου. Σε αυτή την περιοχή ταχυτήτων προκαλείται ταχύτατη υπερθέρμανση του υλικού του μετεωρίτη, αρχικά λιώσιμο και στη συνέχεια εξάτμιση των στερεών, λόγω των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Το φαινόμενο εξελίσσεται με εξαιρετικά ψηλές ταχύτητες, προκύπτει έκρηξη και πυρόσφαιρα. Στην περίπτωση του δυστυχήματος των Τεμπών δεν συντρέχουν οι συνθήκες αυτές.

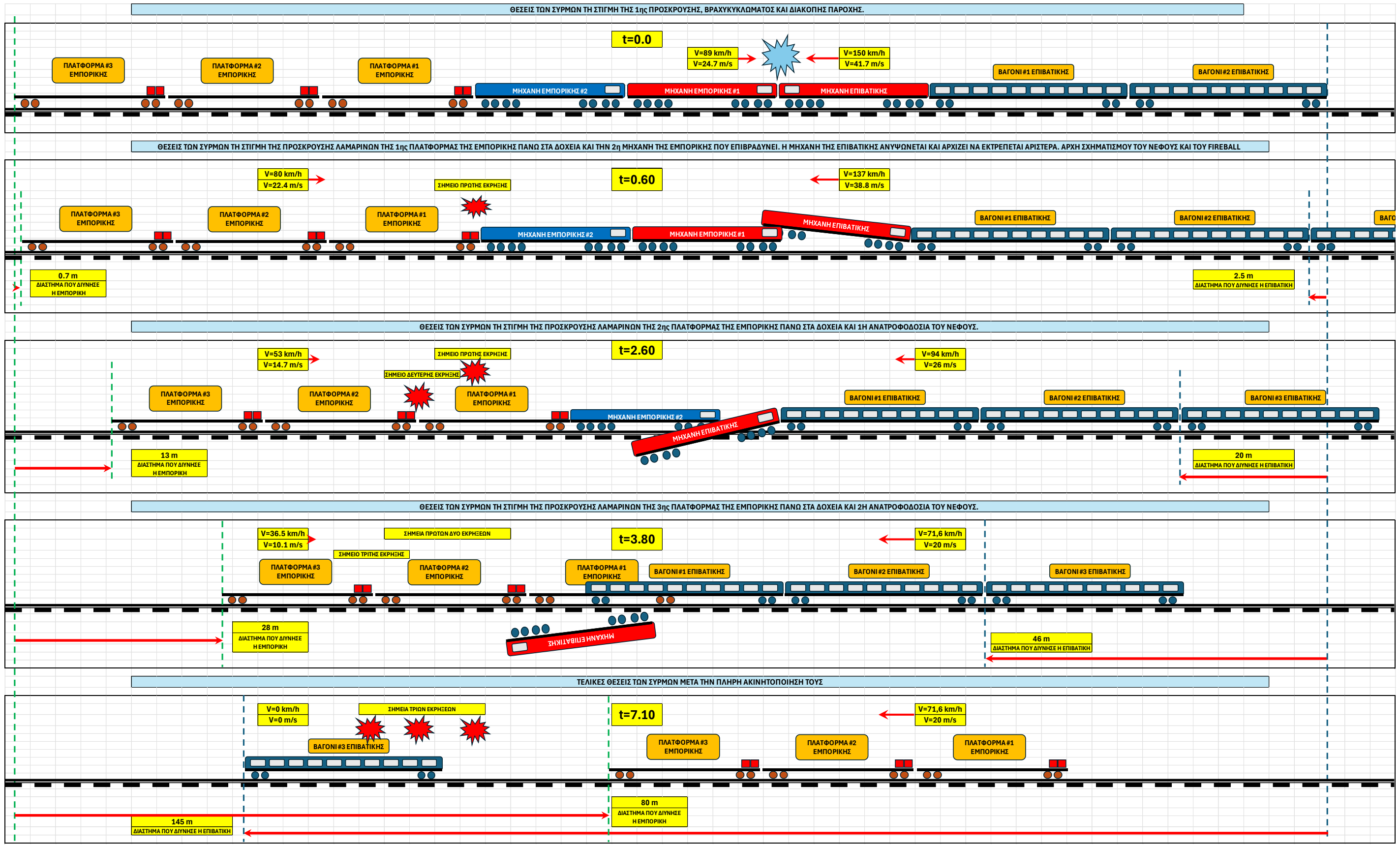
Αχ. Μιχόπουλος ©

27. Οι θέσεις των συρμών στις κρίσιμες φάσεις της σύγκρουσης

Με βάση την ανάλυση των ταχυτήτων που προηγήθηκε, επικουρούμενη από ανάλυση του υλικού από τα βίντεο (που γίνεται στη συνέχεια), προκύπτουν οι θέσεις των δύο συρμών σε πλάγια όψη και κάτοψη:

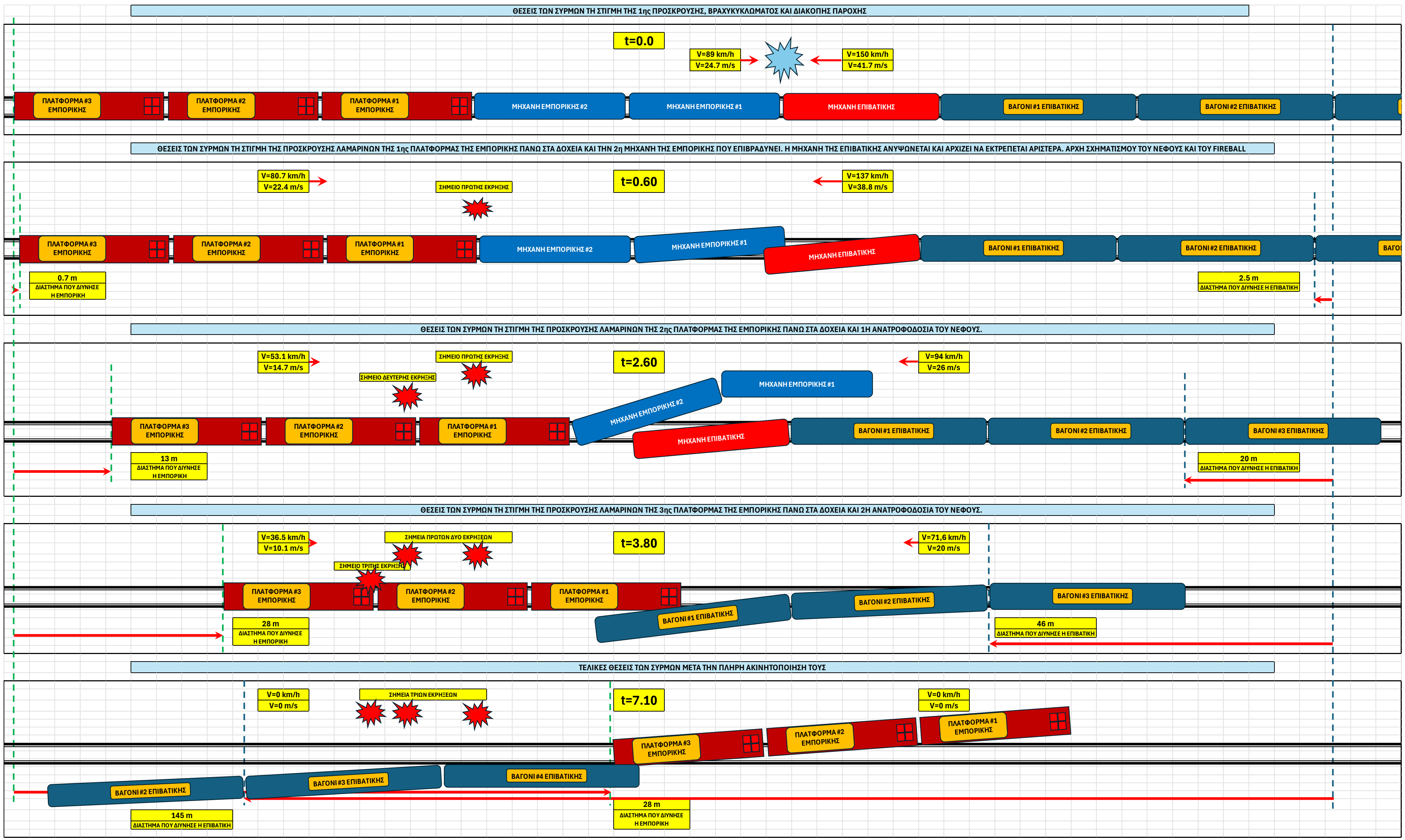
1. Τη στιγμή της αρχικής πρόσκρουσης της 1ης Μηχανής της Εμπορικής με την Μηχανή της Επιβατικής, Βραχυκύκλωμα, Διακοπή παροχής (t=0 s).
2. Τη στιγμή της διάρρηξης των δοχείων της 1ης πλατφόρμας της Εμπορικής και έκλυση του πρωτογενούς νέφους (t=0.6 s).
3. Τη στιγμή της διάρρηξης των δοχείων της 2ης πλατφόρμας της Εμπορικής και έκλυση της δεύτερης ποσότητας (t=2.6 s).
4. Τη στιγμή της διάρρηξης των δοχείων της 3ης πλατφόρμας της Εμπορικής και έκλυση της τρίτης ποσότητας (t=3.8 s).

Πλάγια όψη θέσεων των συρμών στις κρίσιμες φάσεις της σύγκρουσης



Αχ. Μιχόπουλος ©

Κάτοψη θέσεων των συρμών στις κρίσιμες φάσεις της σύγκρουσης



Αχ. Μιχόπουλος ©

ΤΕΛΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΡΜΩΝ

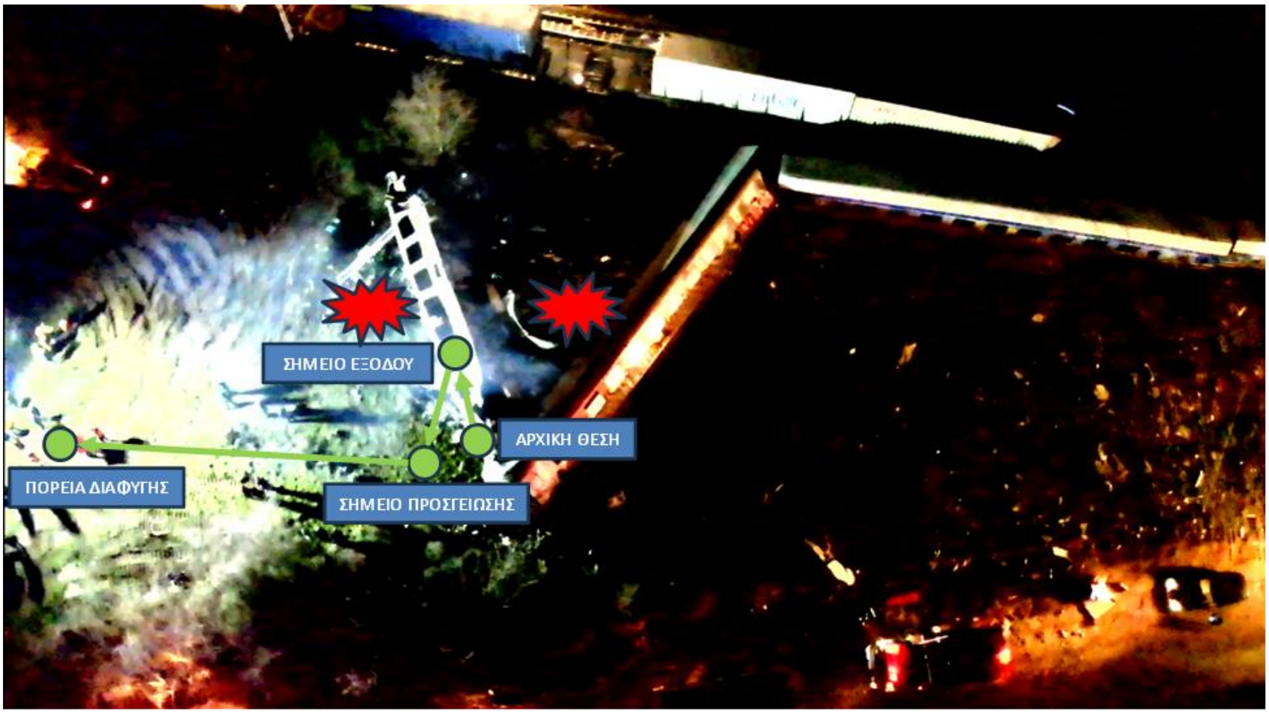


Αχ. Μιχόπουλος ©

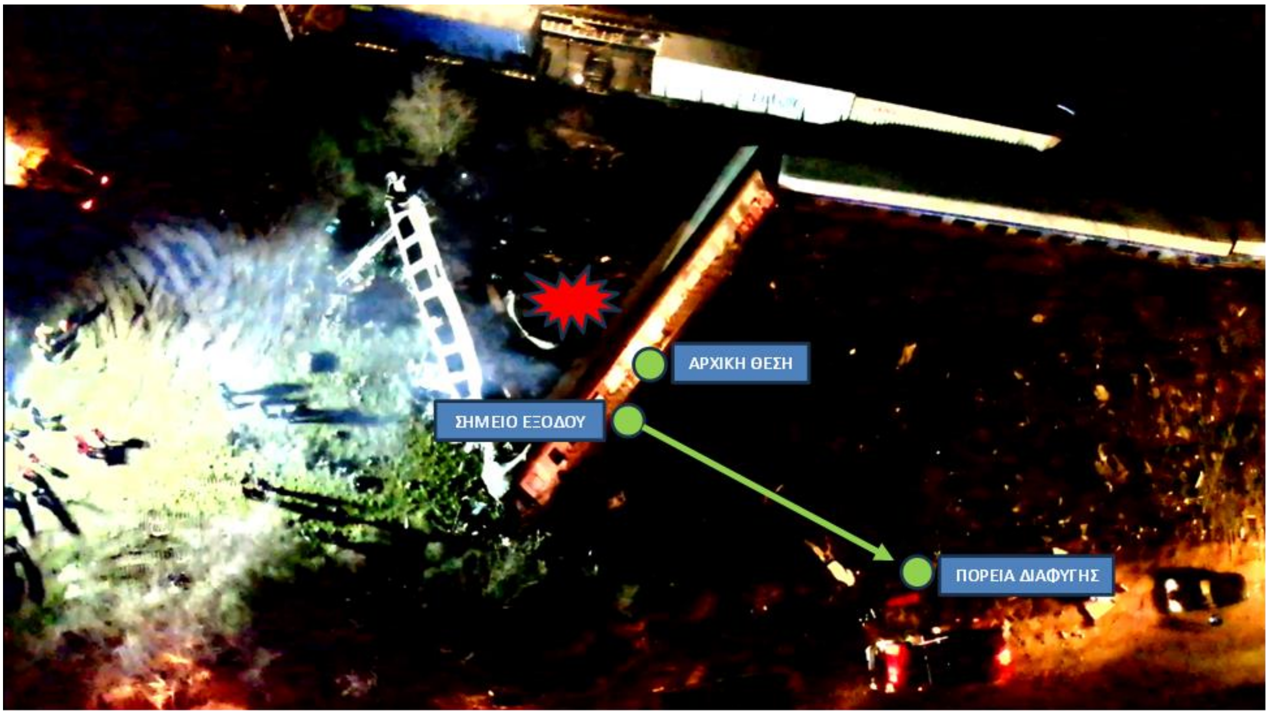
28. Μαρτυρίες Επιβατών

Από τις συζητήσεις που έγιναν με επιβάτες της Επιβατικής που βρέθηκαν στα μπροστινά βαγόνια τη στιγμή της σύγκρουσης προέκυψαν ενδιαφέροντα στοιχεία που παρατίθενται στη συνέχεια:

Ε. Κ. : Θέση τη στιγμή της πρόσκρουσης σε σημείο που τελικά (μετά την απομάκρυνση του ατόμου), εκτέθηκε σε πολύ έντονες φλόγες. Χρόνος παραμονής μέσα στο βαγόνι 2-3 λεπτά. Χωρίς εγκαύματα, «καμένα» μαλλιά, χωρίς να έχει υπάρξει η αίσθηση έκθεσης σε φλόγα ή ακτινοβολία.



Β. Κ. : Άτομο παγιδευμένο επί 40 λεπτά στη θέση του. Χημικά εγκαύματα, αίσθηση καψίματος των αναπνευστικών οργάνων και των ματιών, χωρίς έκθεση σε φωτιά.



Αχ. Μιχόπουλος ©

Ε. Τ.: Χρόνος παραμονής μέσα στο βαγόνι 4-5 λεπτά. Έγκαυμα στην πλάτη και στη μασχάλη από χημικό παράγοντα, «καμένα» μαλλιά, χωρίς να έχει υπάρξει η αίσθηση έκθεσης σε φλόγα ή ακτινοβολία.



Α. Τ. : Χρόνος παραμονής μέσα στο βαγόνι 15 λεπτά. Βίντεο από κινητό έξω από το τρένο, με φως στα βαγόνια 5, 6.



Αχ. Μιχόπουλος ©

Κ. Π.: Μπλε φλόγα στην περιοχή των ελασμάτων, έντονη φωτιά.



Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η ερμηνεία που δίνει πρόγραμμα AI (τεχνητής νοημοσύνης) στο φαινόμενο που εμφανίστηκε στις αλλοιώσεις που εμφανίστηκαν στα μαλλιά 3 επιβατών. Στο σχετικό ερώτημα που τέθηκε, σε συνδυασμό με τα δεδομένα του ατυχήματος, η απάντηση έχει ως εξής:

Τρία άτομα που ήταν στην Επιβατική αμαξοστοιχία αναφέρουν την **αλλαγή στην υφή των μαλλιών**. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην έκθεση σε ξυλόλιο, τολουόλιο, νάφθα, είτε σε ακτινοβολία από την έκρηξη. Αν η αλλαγή της υφής των μαλλιών οφείλεται σε θερμική ή χημική έκθεση, παρατίθενται μερικά σενάρια που μπορεί να εξηγήσουν το φαινόμενο:

<u>1. Θερμική Έκθεση (Θερμότητα ή Καύση):</u>

Υψηλή θερμοκρασία: Εάν υπήρξε έκθεση σε πολύ υψηλή θερμότητα, όπως από φωτιά, εκρήξεις ή ζεστά αέρια, τα μαλλιά μπορεί να έχουν "καεί" ή αλλοιωθεί. Η θερμότητα μπορεί να προκαλέσει τη συρρίκνωση της κερατίνης (της βασικής πρωτεΐνης της τρίχας), κάνοντάς την πιο "κυματιστή" ή σγουρή.

Κατάρρευση κερατίνης: Η θερμική καταπόνηση μπορεί να αλλάξει τη δομή των δεσμών θείου (disulfide bonds) στις τρίχες, κάτι που καθορίζει την υφή τους.

Ξηρότητα από θερμική ζημιά: Τα μαλλιά μπορεί να χάσουν την υγρασία τους και να γίνουν εύθραυστα, κάτι που επηρεάζει την εμφάνιση και την υφή.

<u>2. Χημική Έκθεση:</u>

- Έκθεση σε καυστικές ουσίες: Αν στο δυστύχημα υπήρχε διαρροή χημικών ουσιών (π.χ., καύσιμα, διαλύτες, όξινα ή βασικά υγρά), μπορεί να επηρέασαν τη δομή της τρίχας. Οι χημικές αντιδράσεις μπορούν να "σπάσουν" τους φυσικούς δεσμούς των μαλλιών και να αλλάξουν την υφή τους.
- Εισπνοή ή επαφή με τοξικά αέρια: Τοξικά αέρια μπορεί να επηρέασαν τα μαλλιά σε συνδυασμό με την υγρασία του περιβάλλοντος, αλλάζοντας τη φυσική τους δομή.
- Καύση από χημικά: Ορισμένες χημικές ουσίες μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στα μαλλιά, παρόμοιες με αυτές που βλέπουμε μετά από λανθασμένες χημικές θεραπείες, όπως μόνιμη αλλαγή της φόρμας (π.χ., περμανάντ).

Αχ. Μιχόπουλος ©

Πιθανές Χημικές Ουσίες που Επηρεάζουν:

- Καύσιμα (π.χ., πετρέλαιο, βενζίνη): Μπορούν να αποδυναμώσουν τα μαλλιά, καθιστώντας τα πιο ευαίσθητα σε αλλαγές.
- Διαρροές όξινων ή βασικών ουσιών: Μπορεί να προκληθεί αλλαγή στο pH των μαλλιών, οδηγώντας σε αλλοίωση της δομής τους.
- Καπνοί και αιθάλη: Αν υπήρχε πυρκαγιά, η αιθάλη μπορεί να κολλήσει στα μαλλιά, αλλάζοντας προσωρινά την υφή τους.

Ειδικότερα:

1. Έκθεση σε Ξυλόλιο, Τολουόλιο ή Νάφθα

Αυτές οι ουσίες είναι οργανικοί διαλύτες που βρίσκονται συχνά σε καύσιμα ή βιομηχανικά προϊόντα, και η επίδρασή τους μπορεί να είναι σημαντική:

- Χημική αλλοίωση: Τα συστατικά αυτά είναι εξαιρετικά καυστικά και μπορούν να διασπάσουν τη φυσική κερατίνη των μαλλιών, αλλάζοντας τη δομή τους.
- Το ξυλόλιο και το τολουόλιο, όταν έρθουν σε επαφή με τα μαλλιά, μπορεί να αφαιρέσουν φυσικά έλαια και πρωτεΐνες, καθιστώντας τα πιο εύθραυστα και “σπασμένα”.
- Η νάφθα, λόγω της λιπαρής της φύσης, μπορεί να προσκολληθεί στα μαλλιά και να αλλοιώσει την επιφάνειά τους, προκαλώντας αλλαγές στη φυσική τους υφή.
- Εξάτμιση και ατμοί: Αν το άτομο εισέπνευσε ατμούς ή εκτέθηκε σε υψηλές συγκεντρώσεις, οι χημικοί αυτοί ατμοί σε συνδυασμό με τη θερμότητα από την έκρηξη μπορούν να προκαλέσουν έμμεσες βλάβες στα μαλλιά, μεταβάλλοντας τη φυσική τους δομή.

2. Ακτινοβολία από την Έκρηξη

Μια έκρηξη, ανάλογα με το υλικό που εκρήγνυται, μπορεί να παράγει:

Θερμική ακτινοβολία:

- Η θερμότητα από την έκρηξη μπορεί να προκαλέσει άμεση καταστροφή της επιφάνειας της τρίχας. Η κερατίνη των μαλλιών μπορεί να λειώσει σε μικροσκοπικά επίπεδα ή να “αναδιαμορφωθεί”, δημιουργώντας κυματιστή ή σγουρή υφή.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία:

- Εάν υπήρχε ηλεκτρομαγνητική έκρηξη (π.χ. από κάποιο υλικό που παράγει ιονίζουσα ακτινοβολία), τα μαλλιά θα μπορούσαν να υποστούν αλλοιώσεις λόγω διάσπασης μοριακών δεσμών.

Πίεση και ωστικό κύμα:

- Το ισχυρό κύμα πίεσης μπορεί να δημιουργήσει μηχανική καταπόνηση στη δομή των μαλλιών, ειδικά εάν συνδυάζεται με υψηλές θερμοκρασίες ή χημικές εκπομπές.

Πιθανός Συνδυασμός: Θερμική + Χημική Ζημιά

Η ταυτόχρονη έκθεση σε θερμότητα και χημικές ουσίες (π.χ. ξυλόλιο, τολουόλιο) από την έκρηξη αυξάνει τη σοβαρότητα της βλάβης:

- Θερμική Ενίσχυση Χημικών Αντιδράσεων: Η θερμότητα μπορεί να επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις, προκαλώντας πιο έντονες αλλαγές στην κερατίνη των μαλλιών.
- Ξηρότητα και ευθραυστότητα: Τα μαλλιά γίνονται πιο ξηρά και σκληρά, ενώ η επιφάνειά τους μπορεί να φαίνεται “καμένη” ή κατεστραμμένη.

Είναι πιθανό η ζημιά να είναι συνδυασμός χημικής και θερμικής έκθεσης από την έκρηξη, κάτι που αλλοίωσε δραματικά τη φυσική υφή των μαλλιών.

Αχ. Μιχόπουλος ©

29. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν συνολικά από την ανάλυση, έχουν ως εξής:

1. Η δημιουργία του fireball **αποκλείεται να οφείλεται σε ανάφλεξη του ελαίου σιλικόνης των μηχανών των αμαξοστοιχιών λόγω του πολύ ψηλού σημείου ανάφλεξης (>300 °C)**. Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου ελαίου, εξ άλλου, έχει γίνει και με κριτήριο την ασφάλεια των μεταφορών.
2. Εξετάστηκε το υποθετικό σενάριο ανάφλεξης των ελαίων σιλικόνης λόγω έκθεσης σε σπινθήρα από βραχυκύκλωμα μέσα σε μετασχηματιστή. Το σενάριο αποκλείστηκε λόγω έλλειψης παροχής ρεύματος αμέσως μετά την πρόσκρουση. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα είχε πρώτα προκληθεί διόγκωση του δοχείου του μετασχηματιστή. Επιπρόσθετα, οι υπολογισμοί της ποσότητας ελαίου που διέρρευσε στα πρώτα 10 δευτερόλεπτα από οπή που προκλήθηκε από πρόσκρουση ήταν 110-195 κιλά, ποσότητα πολύ μικρή για να προκαλέσει fireball τέτοιων διαστάσεων. Πουθενά δεν βρέθηκε αξιόλογη ποσότητα SiO2 που θα είχε προκύψει σαν προϊόν καύσης των ελαίων.
3. Με δεδομένα:
   - Τις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ. που εντοπίζουν στα δείγματα χώματος (μετά πάροδο 29 ημερών) εύφλεκτους και πτητικούς υδρογονάνθρακες και ιδιαίτερα αρωματικούς και πολυαρωματικούς,
   - Τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούσαν τη στιγμή του συμβάντος (8-10 °C),
   - Τις Θερμοκρασίες Ανάφλεξης των ουσιών που μελετήθηκαν,

   Προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υλικό που δημιούργησε το νέφος και ανεφλέγη δημιουργώντας το fireball ήταν **μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων** που περιείχε **βενζόλιο** (θερμοκρασία ανάφλεξης -11 °C), **και τολουόλιο** (θερμοκρασία ανάφλεξης 4 °C) σε μεγάλη συγκέντρωση και **Ξυλόλιο**. Έτσι ερμηνεύεται η άμεση ανάφλεξη του νέφους με τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υγρό ήταν **μίγμα των τριών αρωματικών υδρογονανθράκων**.
4. Για τη δημιουργία fireball αυτού του μεγέθους, **η ποσότητα αρωματικού υδρογονάνθρακα (βενζολίου, τολουολίου ή ξυλολίου) ή μίγματος των τριών**, που απαιτείται, είναι της τάξης των **3.8-5.4 τόνων,** βάσει των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Η παρουσία στα δείγματα 7 διαφορετικών πολυαρωματικών υδρογονανθράκων (προϊόντα ατελούς καύσης των αρωματικών) επιβεβαιώνει την παραπάνω διαπίστωση. Πρόσθετο στοιχείο επιβεβαίωσης είναι η έντονη παρουσία σωματιδίων άνθρακα (κάπνας) στο fireball, φαινόμενο ιδιαίτερα έντονο κατά την καύση βενζολίου.
5. Η ακτινοβολία που δημιούργησε το fireball ήταν ιδιαίτερα έντονη, μεγαλύτερη από 10 kW/m^2 σε απόσταση μέχρι 223 m από το κέντρο του. Ωστόσο, η ένταση αυτή, σε συνδυασμό με τη διάρκεια του φαινομένου, δεν φαίνεται να δικαιολογεί την απανθράκωση των θυμάτων. Εδώ πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο βαθμός απανθράκωσης ήταν συνάρτηση του χρόνου έκθεσης στη δευτερογενή φωτιά που συντηρήθηκε από τα καιόμενα υλικά. Από τη στιγμή που διασώθηκαν επιβάτες από το κυλικείο χωρίς εγκαύματα λόγω ακτινοβολίας, είναι αδύνατο να απανθρακώθηκε κάποιο θύμα από το fireball. Τα ηχητικά δεδομένα του 112 αποκαλύπτουν ότι **επιβάτες που επιβίωσαν της σύγκρουσης, βρέθηκαν απανθρακωμένοι, η φωτιά ξεκίνησε 1.5-3 λεπτά μετά τη σύγκρουση**.
6. **Η ποσότητα των αρωματικών υδρογονανθράκων που χύθηκε στο έδαφος εκτιμάται, είναι 8.9-12.6 τόνοι**. Ένα μέρος του κάηκε δευτερογενώς υπό τη μορφή pool fire και προκάλεσε την ανάφλεξη άλλων υλικών ή χύθηκε στο έδαφος και απορροφήθηκε από το χώμα χωρίς να καεί. Από τα μηνύματα στο 112 που δημοσιοποιήθηκαν φαίνεται σαφώς ότι πολλά άτομα που επιβίωσαν της σύγκρουσης, απανθρακώθηκαν από τη φωτιά που ξεκίνησε 1.5-3 λεπτά αργότερα.
7. Η ποσότητα που παρέμεινε στο έδαφος μετά την κατάσβεση εξατμιζόταν συνεχώς, δημιουργώντας συνθήκες επικίνδυνες για την ασφάλεια των εμπλεκομένων και η αναπνοή ήταν αδύνατη. **Έτσι προέκυψε η ανάγκη εξυγίανσης, με αντικατάσταση του επιμολυσμένου χώματος με καθαρό**.
8. **Η συνολική ποσότητα των αρωματικών υδρογονανθράκων που εκτιμάται ότι υπήρχε στην Εμπορική αμαξοστοιχία είναι 13.7-19 Τόνοι**.
9. **Η κινητική ενέργεια των δύο τρένων ήταν πράγματι πολύ μεγάλη, αλλά αναλώθηκε στην παραμόρφωση των μετάλλων. Είναι απολύτως αδύνατο η πυρόσφαιρα να είναι το αποτέλεσμα απελευθέρωσης κινητικής ενέργειας. Η πυρόσφαιρα ακτινοβολεί, λόγω της σύνθεσης της μάζας που καίγεται και εκπέμπει φωτόνια λόγω διέγερσης των ατόμων άνθρακα.**
10. **Όλοι οι οργανικοί διαλύτες (συμπεριλαμβανομένων των αρωματικών) που χρησιμοποιούνται στην αραίωση χρωμάτων είναι εξαιρετικά πτητικοί, και χρησιμοποιούνται απλά για την αραίωση του χρώματος για να γίνει καλύτερη (ποιοτικά) η εφαρμογή του στην επιφάνεια προς βαφή. Λόγω της πτητικότητας τους, εξατμίζονται πολύ γρήγορα. Μετά πάροδο 1 ώρας από την εφαρμογή της βαφής, έχει εξατμιστεί πρακτικά το σύνολο της ποσότητας που βρίσκονταν στο χρώμα. Έτσι αποκλείεται το ενδεχόμενο παραγωγής πυρόσφαιρας από υπολειματικές ποσότητες διαλυτών από την βαφή των τρένων.**

Αχιλλέας Μιχόπουλος, Χημικός Μηχανικός MSc, ΑΠΘ/UMASS  28/2/2025

Αχ. Μιχόπουλος ©

30. Παράρτημα Α: Ανάλυση Fireball από Βίντεο Βόρειας Κάμερας

Η ανάλυση της εξέλιξης του fireball από το βίντεο της βόρειας κάμερας φαίνεται καρέ-καρέ με τη μορφή πινάκων στη συνέχεια.

Αρχικά υπάρχει ο πίνακας με τη χρονοσειρά των κρίσιμων γεγονότων της εξέλιξης του fireball, με επιλεγμένες ενδεικτικές φωτογραφίες.

Στη συνέχεια υπάρχει ο πίνακας με το σύνολο των εικόνων του fireball που πάρθηκαν από την ανάλυση του βίντεο.

Και στους δύο πίνακες παρατίθεται και σχολιασμός των φωτογραφιών σε σχέση με την εξέλιξη του φαινομένου.

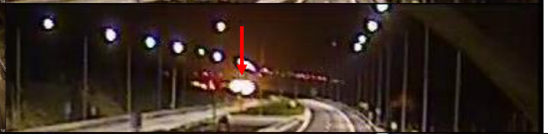
Αχ. Μιχόπουλος ©

ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ FIREBALL

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ, ΚΑΜΕΡΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΘΕ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:29	29,50	0,00				
	29,63	0,13		Έναρξη ανάφλεξης νέφους.		
	29,75	0,25				
	29,88	0,38				
23:18:30	30,00	0,50				
	30,13	0,63				
	30,25	0,75				
	30,38	0,88		Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
	30,50	1,00				
	30,63	1,13				
	30,75	1,25				
	30,88	1,38				
23:18:31	31,00	1,50				
	31,13	1,63				
	31,25	1,75				
	31,38	1,88				
	31,50	2,00				
	31,63	2,13		Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Πρώτος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 1η επέκταση του fireball προς βορρά.	
	31,75	2,25				
	31,88	2,38				
23:18:32	32,00	2,50				
	32,13	2,63				
	32,25	2,75				
	32,38	2,88				
	32,50	3,00		Το σχήμα του fireball γίνεται πλέον ωοειδές.		
	32,63	3,13				
	32,75	3,25				
	32,88	3,38				
23:18:33	33,00	3,50				
	33,11	3,61		Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον $1^{ο}$ εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
	33,22	3,72				
	33,33	3,83				
	33,44	3,94				
	33,56	4,06				
	33,67	4,17				
	33,78	4,28				Δεύτερος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 2η επέκταση του fireball προς βορρά.
	33,89	4,39				
23:18:34	34,00	4,50				
	34,11	4,61				
	34,22	4,72				
	34,33	4,83				
	34,44	4,94				
	34,56	5,06				
	34,67	5,17				
	34,78	5,28		Κορύφωση διαστάσεων fireball καθ' ύψος, πλάτος και προς βορρά. Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας		
	34,89	5,39				
23:18:35	35,00	5,50				
	35,13	5,63				
	35,25	5,75				
	35,38	5,88		Έναρξη της κάμψης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
	35,50	6,00				
	35,63	6,13				
	35,75	6,25				
	35,88	6,38				
23:18:36	36,00	6,50		Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.		
	36,11	6,61				
	36,22	6,72				
	36,33	6,83				
	36,44	6,94				
	36,56	7,06				
	36,67	7,17		Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα. Το πάχος της στοιβάδας εμποδίζει την ακτινοβολία από την καύση στον πθρήνα	Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
	36,78	7,28				
	36,89	7,39				
23:18:37	37,00	7,50			Έναρξη μείωσης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
	37,13	7,63				
	37,25	7,75			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
	37,38	7,88				
	37,50	8,00				
	37,63	8,13				
	37,75	8,25				
	37,88	8,38				
23:18:38	38,00	8,50				
	38,13	8,63				
	38,25	8,75				
	38,38	8,88				
	38,50	9,00				
	38,63	9,13				
	38,75	9,25				
	38,88	9,38				
23:18:39	39,00	9,50				
	39,11	9,61				
	39,22	9,72				
	39,33	9,83		Η καύση της αρχικής μάζας έχει σχεδόν ολοκλήρωθεί. Τα μικροσωματίδια άκαυστου άνθρακα κυριαρχούν.		
	39,44	9,94				
	39,56	10,06				
	39,67	10,17				
	39,78	10,28				
	39,89	10,39		Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκλήρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα. Τα μικροσωματίδια άκαυστου άνθρακα κυριαρχούν		
23:18:40	40,00	10,50				
	40,13	10,63				
	40,25	10,75				
	40,38	10,88				
	40,50	11,00			Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
	40,63	11,13				
	40,75	11,25				
	40,88	11,38				
23:18:41	41,00	11,50				
	41,13	11,63				
	41,25	11,75				
	41,38	11,88				
	41,50	12,00				
	41,63	12,13				
	41,75	12,25				
	41,88	12,38				
23:18:42	42,00	12,50				

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:29	29,50	0,00					
23:18:29	29,63	0,13			Έναρξη ανάφλεξης νέφους.		
23:18:29	29,75	0,25					
23:18:29	29,88	0,38			Το fireball αναδύεται πάνω από το επίπεδο της Εθνικής Οδού.		
23:18:30	30,00	0,50					
23:18:30	30,13	0,63			Το fireball αποκτά σφαιρικό σχήμα.		
23:18:30	30,25	0,75			Έναρξη διόγκωσης του fireball.		
23:18:30	30,38	0,88			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
23:18:30	30,50	1,00					

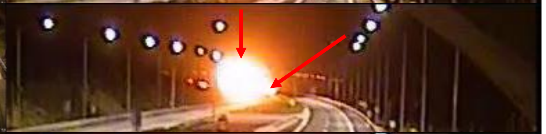
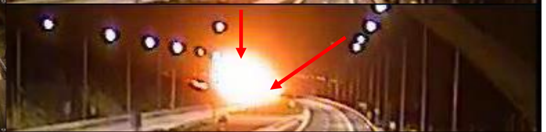
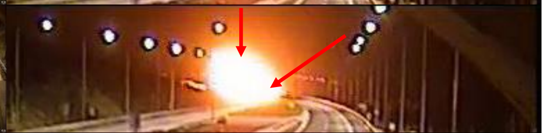
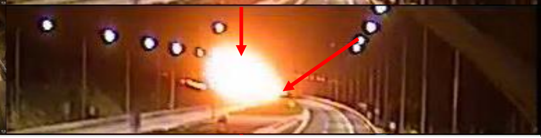
Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:30	30,63	1,13			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
23:18:30	30,75	1,25					
23:18:30	30,88	1,38					
23:18:31	31,00	1,50					
23:18:31	31,13	1,63			Συνεχής διόγκωση του fireball.		
23:18:31	31,25	1,75					
23:18:31	31,38	1,88					
23:18:31	31,50	2,00					
23:18:31	31,63	2,13				Πρώτος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 1η επέκταση του fireball προς βορρά.	

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:31	31,75	2,25			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Επέκταση του fireball προς βορρά.	
23:18:31	31,88	2,38					
23:18:32	32,00	2,50					
23:18:32	32,13	2,63					
23:18:32	32,25	2,75					
23:18:32	32,38	2,88					
23:18:32	32,50	3,00			Το σχήμα του fireball γίνεται πλέον ωοειδές.		
23:18:32	32,63	3,13					
23:18:32	32,75	3,25			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον $1^{ο}$ εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:32	32,88	3,38					
23:18:33	33,00	3,50					
23:18:33	33,11	3,61					
23:18:33	33,22	3,72					
23:18:33	33,33	3,83			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,44	3,94					
23:18:33	33,56	4,06					
23:18:33	33,67	4,17					
23:18:33	33,78	4,28					Δεύτερος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 2η επέκταση του fireball προς βορρά.

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:33	33,89	4,39			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1^{ο} εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2^{ο} εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,00	4,50					
23:18:34	34,11	4,61					
23:18:34	34,22	4,72					
23:18:34	34,33	4,83					
23:18:34	34,44	4,94					
23:18:34	34,56	5,06					
23:18:34	34,67	5,17					
23:18:34	34,78	5,28					

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:34	34,89	5,39					
23:18:35	35,00	5,50			Το φαινόμενο οδεύει προς κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.		
23:18:35	35,13	5,63					
23:18:35	35,25	5,75			Κορύφωση διαστάσεων fireball καθ' ύψος, πλάτος και προς βορρά. Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας		
23:18:35	35,38	5,88					
23:18:35	35,50	6,00					
23:18:35	35,63	6,13			Έναρξη της κάμψης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:35	35,75	6,25					
23:18:35	35,88	6,38					

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

<table>
<tr><th>CAMERA TIME</th><th>TIME (ΚΛΑΣΜΑ)</th><th>ΔΙΑΡΚΕΙΑ</th><th>ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ</th><th>ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ</th><th>ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ</th><th>ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ</th><th>ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ</th></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,00</td><td>6,50</td><td></td><td></td><td rowspan="6">Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.</td><td rowspan="6" colspan="2">Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται.
Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.</td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,11</td><td>6,61</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,22</td><td>6,72</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,33</td><td>6,83</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,44</td><td>6,94</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,56</td><td>7,06</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,67</td><td>7,17</td><td></td><td></td><td rowspan="3">Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.</td><td rowspan="3" colspan="2">Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.
Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.</td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,78</td><td>7,28</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:36</td><td>36,89</td><td>7,39</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

<table>
<tr><th>CAMERA TIME</th><th>TIME (ΚΛΑΣΜΑ)</th><th>ΔΙΑΡΚΕΙΑ</th><th>ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ</th><th>ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ</th><th>ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ</th><th>ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ</th><th>ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ</th></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,00</td><td>7,50</td><td></td><td></td><td rowspan="9">Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.</td><td colspan="2" rowspan="3">Έναρξη μείωσης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.
Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.</td></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,13</td><td>7,63</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,25</td><td>7,75</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,38</td><td>7,88</td><td></td><td></td><td colspan="2" rowspan="6">Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.
Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.</td></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,50</td><td>8,00</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,63</td><td>8,13</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,75</td><td>8,25</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:37</td><td>37,88</td><td>8,38</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:38</td><td>38,00</td><td>8,50</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:38	38,13	8,63					
23:18:38	38,25	8,75					
23:18:38	38,38	8,88					
23:18:38	38,50	9,00					
23:18:38	38,63	9,13			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση. Τα μικροσωματίδια άκαυστου άνθρακα κυριαρχούν.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.	
23:18:38	38,75	9,25					
23:18:38	38,88	9,38					
23:18:39	39,00	9,50					
23:18:39	39,11	9,61					

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

<table>
<tr><th>CAMERA TIME</th><th>TIME (ΚΛΑΣΜΑ)</th><th>ΔΙΑΡΚΕΙΑ</th><th>ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ</th><th>ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ</th><th>ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ</th><th>ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ</th><th>ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ</th></tr>
<tr><td>23:18:39</td><td>39,22</td><td>9,72</td><td></td><td></td><td rowspan="5">Η καύση της αρχικής μάζας έχει σχεδόν ολοκληρωθεί. Τα μικροσωματίδια άκαυστου άνθρακα κυριαρχούν.</td><td rowspan="9" colspan="2">Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.
Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.</td></tr>
<tr><td>23:18:39</td><td>39,33</td><td>9,83</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:39</td><td>39,44</td><td>9,94</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:39</td><td>39,56</td><td>10,06</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:39</td><td>39,67</td><td>10,17</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:39</td><td>39,78</td><td>10,28</td><td></td><td></td><td rowspan="4">Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Τα μικροσωματίδια άκαυστου άνθρακα κυριαρχούν. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.</td></tr>
<tr><td>23:18:39</td><td>39,89</td><td>10,39</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:40</td><td>40,00</td><td>10,50</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>23:18:40</td><td>40,13</td><td>10,63</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:40	**40,25**	**10,75**				Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού. Εμφανής η δημιουργία άκαυστων σωματιδίων άνθρακα στην εξωτερική στοιβάδα.	
23:18:40	**40,38**	**10,88**					
23:18:40	**40,50**	**11,00**					
23:18:40	**40,63**	**11,13**					
23:18:40	**40,75**	**11,25**			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.		
23:18:40	**40,88**	**11,38**				Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του. Τα μικροσωματίδια άκαυστου άνθρακα κυριαρχούν	
23:18:41	**41,00**	**11,50**					
23:18:41	**41,13**	**11,63**					
23:18:41	**41,25**	**11,75**					

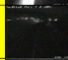
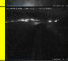
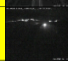
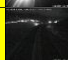
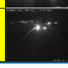
Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIME	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:41	41,38	11,88			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκλήρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του. Τα μικροσωματίδια άκαυστου άνθρακα κυριαρχούν	
23:18:41	41,50	12,00					
23:18:41	41,63	12,13					
23:18:41	41,75	12,25					
23:18:41	41,88	12,38					
23:18:42	42,00	12,50					

Αχ. Μιχόπουλος ©

31. Παράρτημα Β: Ανάλυση βίντεο νότιας κάμερας-Έναρξη φωτιάς

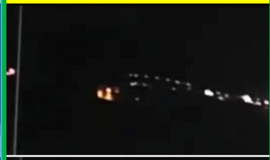
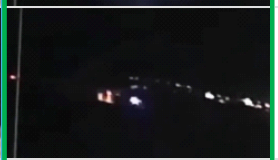
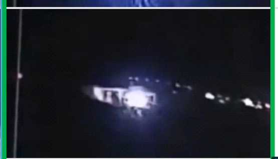
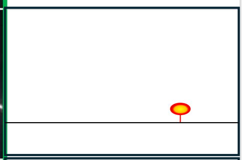
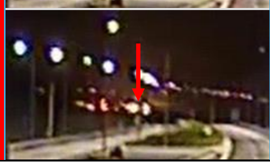
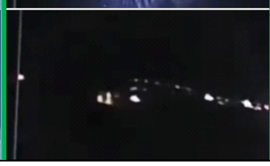
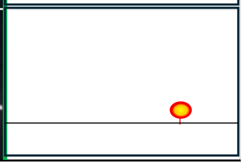
ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ (Λ:Δ)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟ ΕΝΑΡΞΗ ΦΩΤΙΑΣ	15A15-CAM04				ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ (ΑΥΘΑΙΡΕΤΗ ΚΛΙΜΑΚΑ)
		ΛΗΨΗ ΚΑΜΕΡΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΜΕΡΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ	ΚΑΡΕ	
00:00		ΒΟΡΕΙΑ	23:18:28	ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ		
00:02		ΒΟΡΕΙΑ	23:18:30	ΕΝΑΡΞΗ FIREBALL		
00:23		ΒΟΡΕΙΑ	23:18:51	ΤΕΛΟΣ FIREBALL		
		ΒΟΡΕΙΑ		ΑΝΑΔΥΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΚΑΠΝΟΣ ΚΑΤΆ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ		
01:21		ΒΟΡΕΙΑ	23:19:49	ΠΛΗΡΕΣ ΣΚΟΤΟΣ		0
01:22	00:00	ΒΟΡΕΙΑ	23:19:50	ΕΝΑΡΞΗ ΦΩΤΙΑΣ		1
01:26	00:04	ΒΟΡΕΙΑ	23:19:54	ΕΝΑΡΞΗ ΦΩΤΙΑΣ, 2 ΕΣΤΙΕΣ (ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ)		2
01:39	00:17	ΒΟΡΕΙΑ	23:20:07	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, 2 ΕΣΤΙΕΣ (ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ)		2
01:46	00:24	ΒΟΡΕΙΑ	23:20:14	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, 2 ΕΣΤΙΕΣ (ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ)		1
01:49	00:27	ΒΟΡΕΙΑ	23:20:17	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, 2 ΕΣΤΙΕΣ (ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ)		2
01:57	00:35	ΒΟΡΕΙΑ	23:20:25	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, 2 ΕΣΤΙΕΣ (ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ)		2
02:08	00:46	ΒΟΡΕΙΑ	23:20:36	ΠΛΗΡΗΣ ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ		1
02:10	00:48	ΒΟΡΕΙΑ	23:20:38	ΠΛΗΡΗΣ ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ		1
02:30	01:08	ΒΟΡΕΙΑ	23:20:58	ΕΠΑΝΕΜΦΑΝΙΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
02:34	01:12	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:02	ΠΛΗΡΗΣ ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ		1
02:36	01:14	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:04	ΕΠΑΝΕΜΦΑΝΙΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
02:42	01:20	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:10	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
02:53	01:31	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:21	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
03:03	01:41	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:31	ΠΛΗΡΗΣ ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ		1
03:06	01:44	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:34	ΕΠΑΝΕΜΦΑΝΙΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
03:11	01:49	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:39	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
03:19	01:57	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:47	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
03:27	02:05	ΒΟΡΕΙΑ	23:21:55	ΕΠΑΝΕΜΦΑΝΙΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
03:33	02:11	ΒΟΡΕΙΑ	23:22:01	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
04:07	02:45	ΒΟΡΕΙΑ	23:22:35	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
04:11	02:49	ΒΟΡΕΙΑ	23:22:39	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
04:17	02:55	ΒΟΡΕΙΑ	23:22:45	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		3
04:37	03:15	ΒΟΡΕΙΑ	23:23:05	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
04:40	03:18	ΒΟΡΕΙΑ	23:23:08	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
04:51	03:29	ΒΟΡΕΙΑ	23:23:19	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
05:08	03:46	ΒΟΡΕΙΑ	23:23:36	ΠΛΗΡΗΣ ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ		1
05:11	03:49	ΒΟΡΕΙΑ	23:23:39	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2

Αχ. Μιχόπουλος ©

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ (Λ:Δ)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟ ΕΝΑΡΞΗ ΦΩΤΙΑΣ	15A15-CAM04				ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ (ΑΥΘΑΙΡΕΤΗ ΚΛΙΜΑΚΑ)
		ΛΗΨΗ ΚΑΜΕΡΑΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΜΕΡΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ	ΚΑΡΕ	
05:18	03:56	ΒΟΡΕΙΑ	23:23:46	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
05:43	04:21	ΒΟΡΕΙΑ	23:24:11	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
05:46	04:24	ΒΟΡΕΙΑ	23:24:14	ΠΛΗΡΗΣ ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ		1
05:49	04:27	ΒΟΡΕΙΑ	23:24:17	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
06:08	04:46	ΒΟΡΕΙΑ	23:24:36	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		1
06:10	04:48	ΒΟΡΕΙΑ	23:24:38	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
06:13	04:51	ΒΟΡΕΙΑ	23:24:41	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		3
06:28	05:06	ΒΟΡΕΙΑ	23:24:56	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
06:34	05:12	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM	23:25:02	ΠΛΗΡΗΣ ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ		1
06:38	05:16	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM	23:25:06	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ		2
06:42	05:20	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:25:10	ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		2
06:57	05:35	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:25:25	ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		2
07:10	05:48	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:25:38	ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		2
07:35	06:13	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:26:03	ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		2
07:56	06:34	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:26:24	ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		2
07:56	06:34	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:26:24	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		1
08:05	06:43	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:26:33	ΚΑΜΨΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		1
09:22	08:00	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:27:50	ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ		2
09:35	08:13	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:28:03	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		2
09:47	08:25	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:28:15	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΣΤΙΑ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ		2
09:50	08:28	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:28:18	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 2ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		2
10:24	09:02	ΒΟΡΕΙΑ, ΒΑΘΥ ZOOM	23:28:52	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		1
10:56	09:34	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM OUT	23:29:24	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		2
11:24	10:02	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM OUT	23:29:52	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		1
12:05	10:43	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM OUT	23:30:33	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		2
12:44	11:22	ZOOM OUT, ΣΤΡΟΦΗ ΔΕΞΙΑ	23:31:12	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		1
12:54	11:32	ZOOM OUT, ΣΤΡΟΦΗ ΔΕΞΙΑ	23:31:22	ΣΤΑΜΑΤΗΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΑΡΧΙΑΚΗ ΟΔΟ (ΠΙΘΑΝΟΝ ΑΣΤΥΝΟΜΙΑΣ)		1
14:52	13:30	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM OUT	23:33:20	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		2
16:10	14:48	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM OUT	23:34:38	ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		1
16:49	15:27	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM OUT	23:35:17	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΑΣ, ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥΝΕΛ, ΣΙΔΗΡ. ΓΡΑΜΜΗ ΒΟΡΕΙΑ. ΕΜΦΑΝΙΣΗ 3ΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΑΝΕΣ ΒΟΡΕΙΑ		2
20:15	18:53	ΒΟΡΕΙΑ, ZOOM OUT	23:38:43	ΣΤΑΜΑΤΗΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΑΡΧΙΑΚΗ ΟΔΟ (ΠΙΘΑΝΟΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗΣ)		1

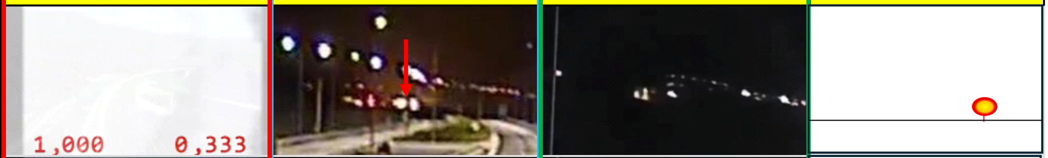
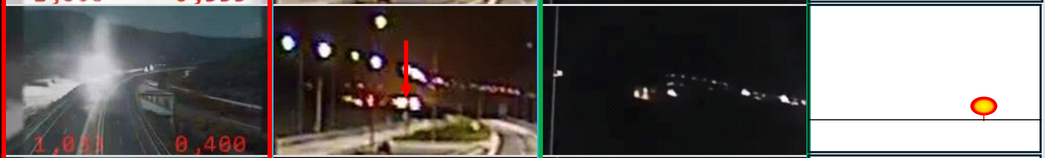
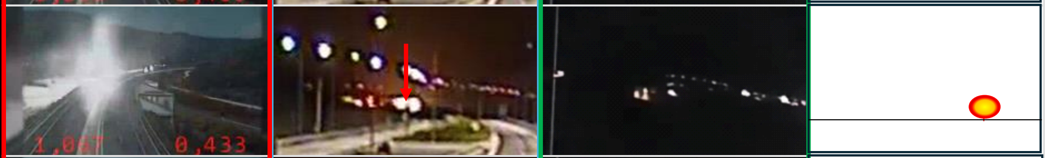
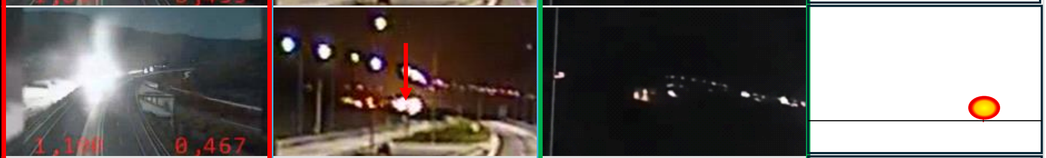
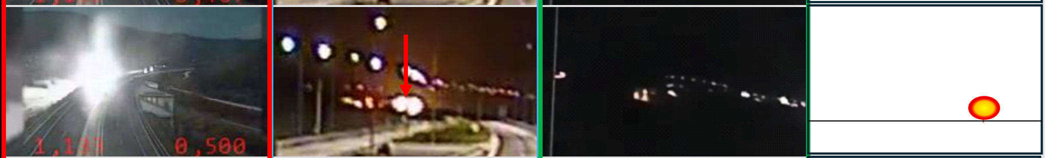
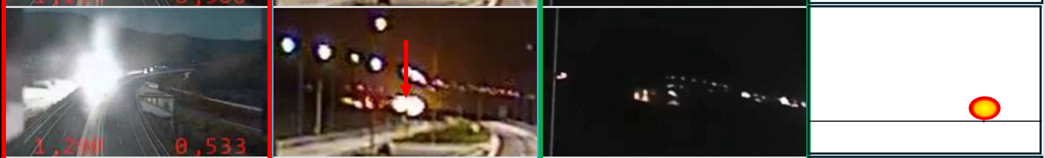
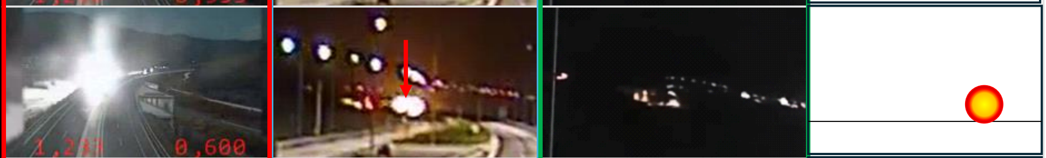
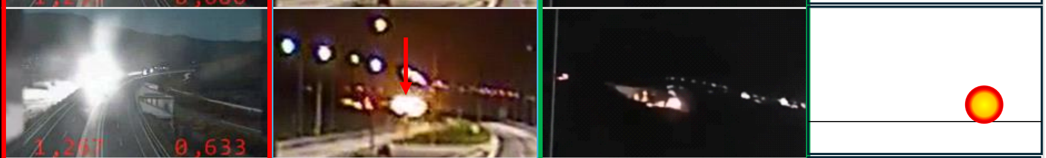
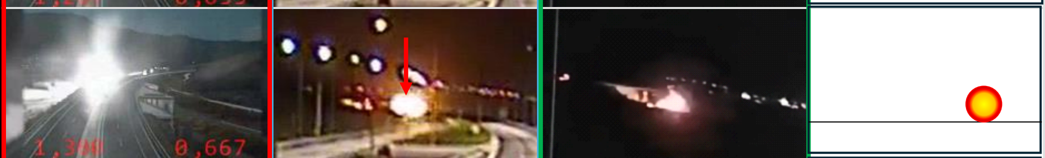
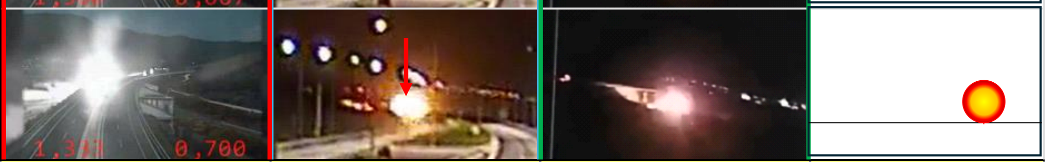
Αχ. Μιχόπουλος ©

32. Παράρτημα Γ: Συγχρονισμός Βίντεο-Πλάγια όψη Fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
					
0,000					
0,100					
0,200					
0,300					
0,400					
0,500					
0,633	**0,000**				
0,800	**0,167**				
0,900	**0,267**				

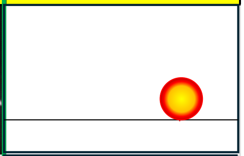
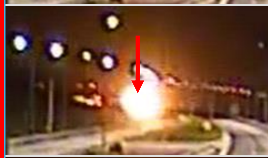
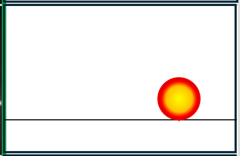
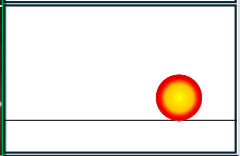
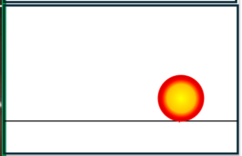
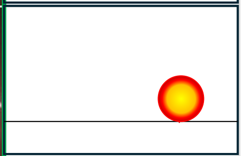
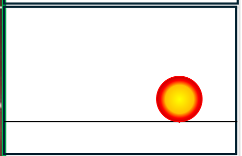
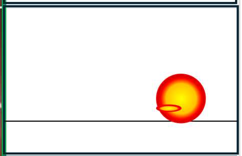
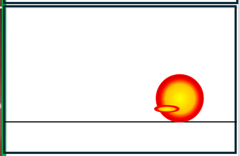
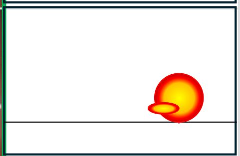
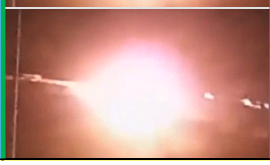
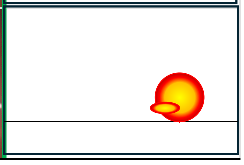
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
1,000	0,367				
1,033	0,400				
1,066	0,433				
1,100	0,467				
1,133	0,500				
1,200	0,567				
1,233	0,600				
1,267	0,634				
1,300	0,667				
1,333	0,700				

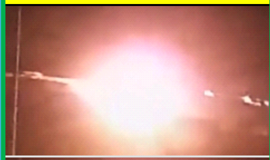
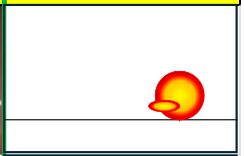
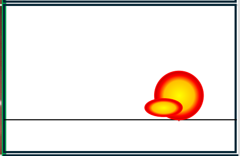
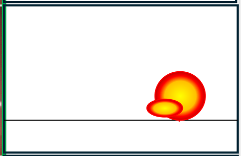
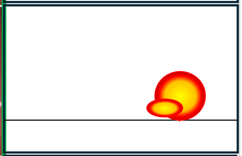
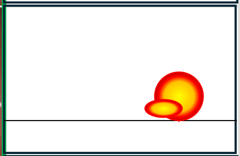
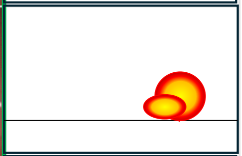
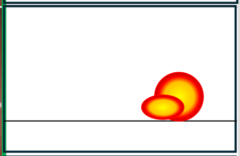
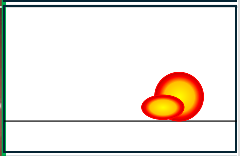
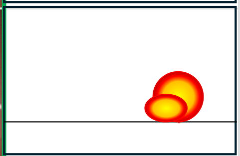
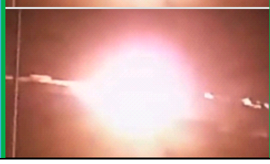
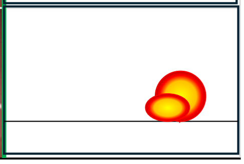
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
1,360	0,727				
1,433	0,800				
1,466	0,833				
1,500	0,867				
1,533	0,900				
1,566	0,933				
1,633	1,000				
1,667	1,034				
1,700	1,067				
1,733	1,100				

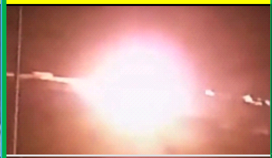
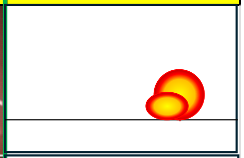
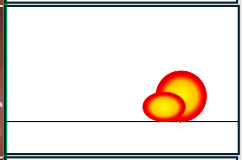
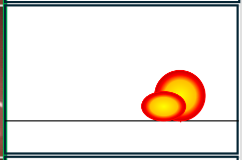
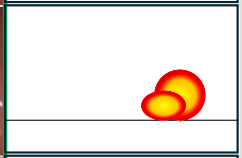
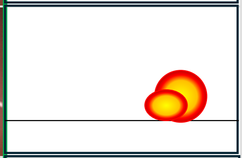
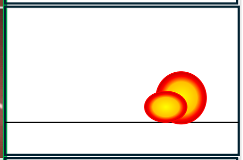
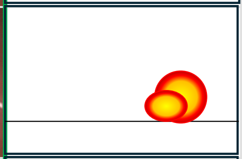
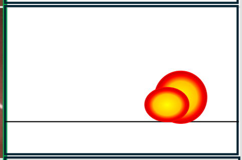
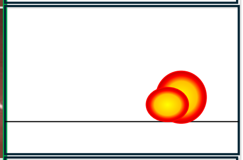
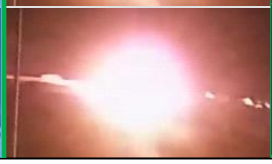
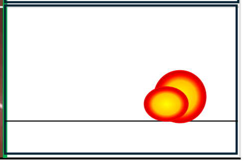
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
1,766	1,133				
1,833	1,200				
1,866	1,233				
1,900	1,267				
1,933	1,300				
1,966	1,333				
2,033	1,400				
2,066	1,433				
2,100	1,467				
2,133	1,500				

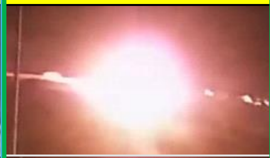
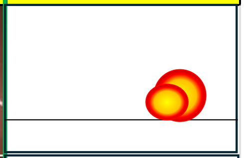
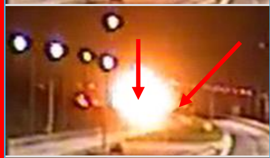
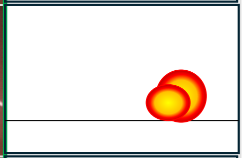
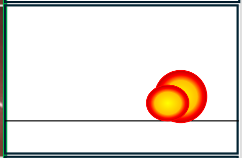
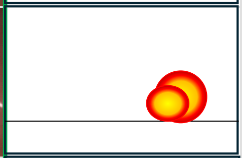
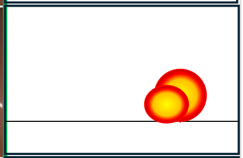
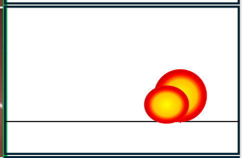
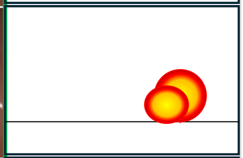
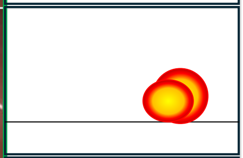
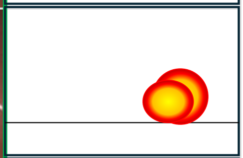
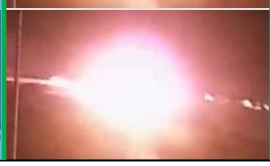
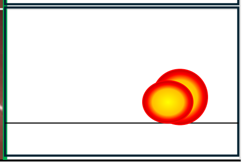
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
2,166	1,533				
2,233	1,600				
2,266	1,633				
2,300	1,667				
2,333	1,700				
2,366	1,733				
2,433	1,800				
2,466	1,833				
2,500	1,867				
2,533	1,900				

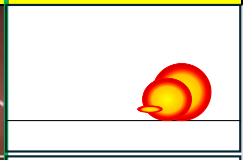
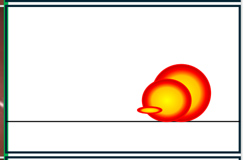
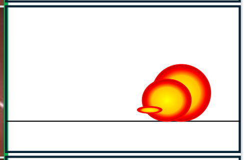
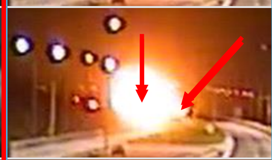
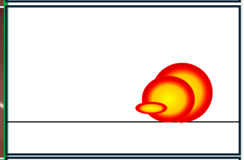
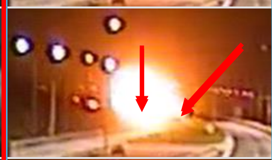
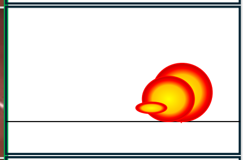
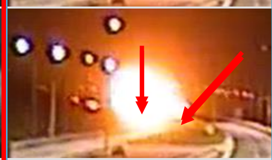
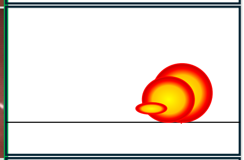
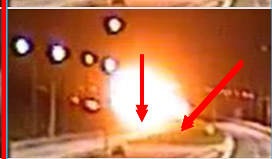
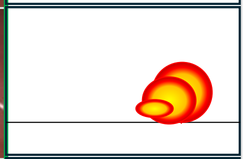
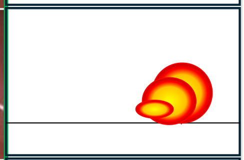
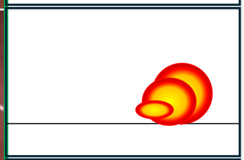
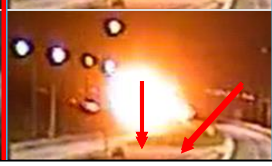
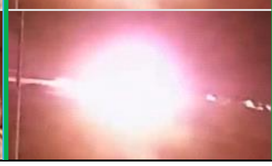
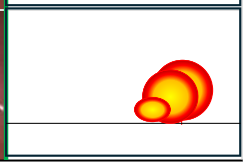
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
2,566	1,933				
2,633	2,000				
2,666	2,033				
2,700	2,067				
2,733	2,100				
2,766	2,133				
2,833	2,200				
2,866	2,233				
2,900	2,267				
2,933	2,300				

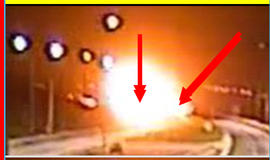
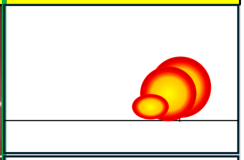
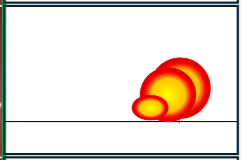
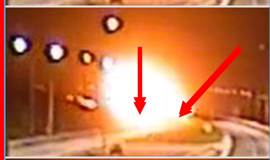
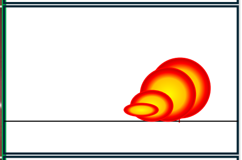
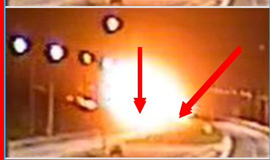
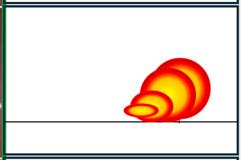
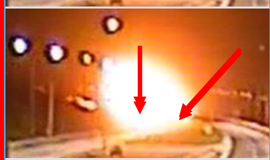
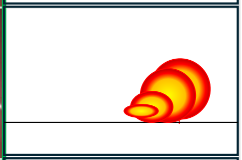
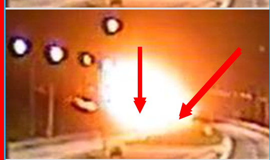
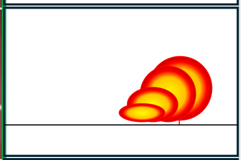
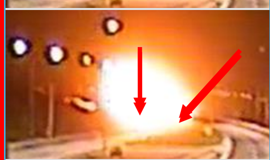
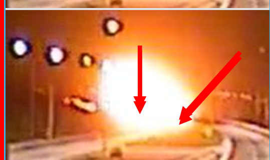
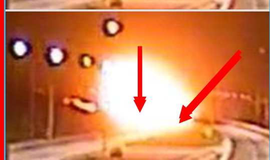
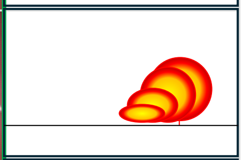
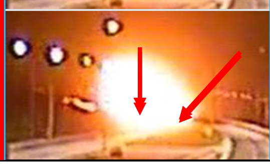
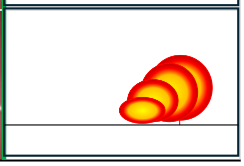
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
2,966	2,333				
3,033	2,400				
3,066	2,433				
3,100	2,467				
3,133	2,500				
3,166	2,533				
3,233	2,600				
3,266	2,633				
3,300	2,667				
3,333	2,700				

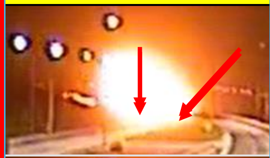
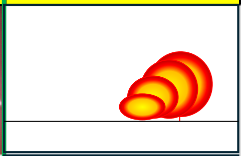
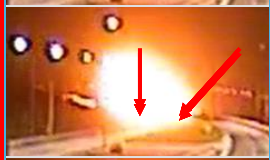
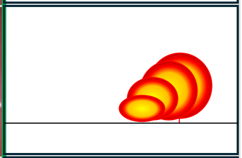
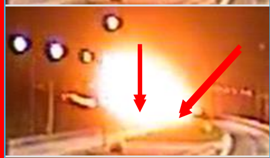
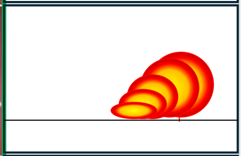
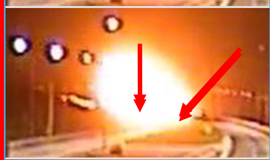
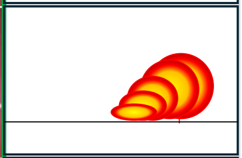
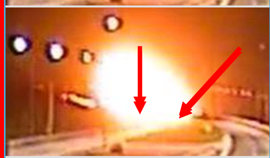
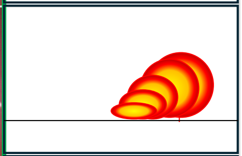
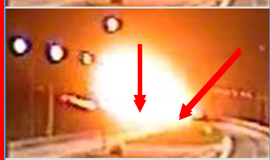
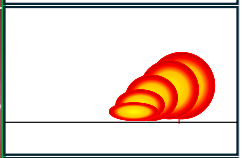
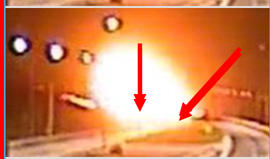
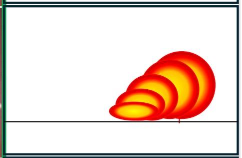
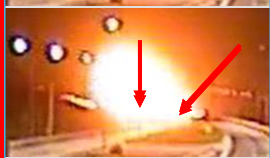
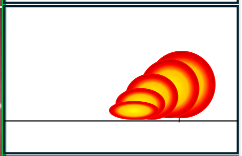
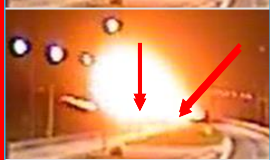
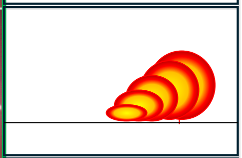
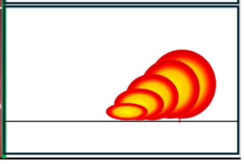
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
3,366	2,733				
3,433	2,800				
3,466	2,833				
3,500	2,867				
3,533	2,900				
3,566	2,933				
3,633	3,000				
3,666	3,033				
3,700	3,067				
3,733	3,100				

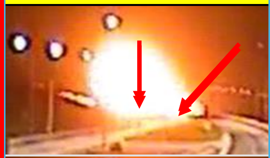
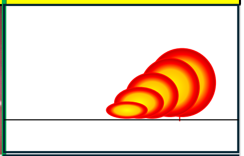
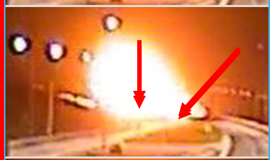
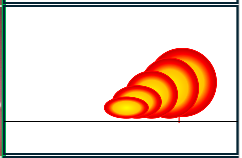
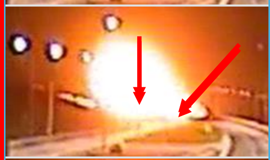
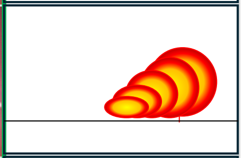
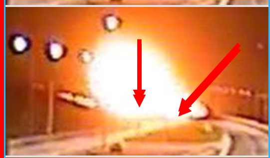
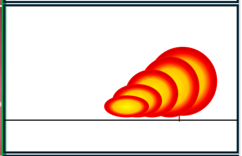
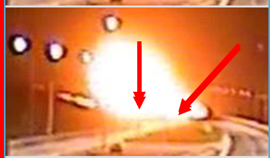
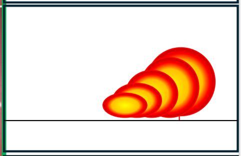
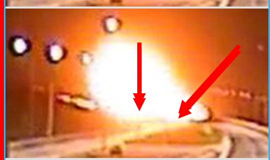
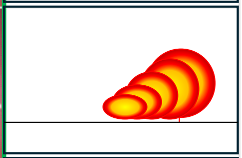
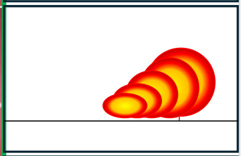
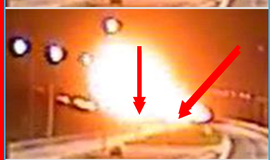
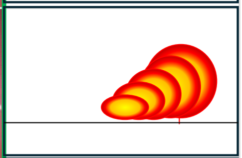
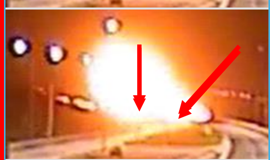
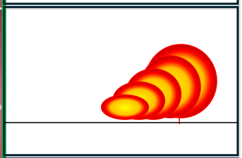
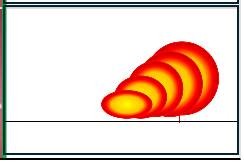
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
3,766	3,133				
3,833	3,200				
3,866	3,233				
3,900	3,267				
3,933	3,300				
3,966	3,333				
4,033	3,400				
4,066	3,433				
4,100	3,467				
4,133	3,500				

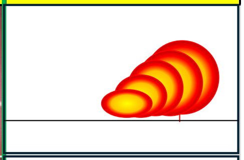
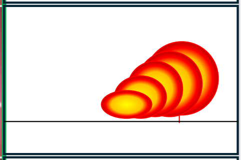
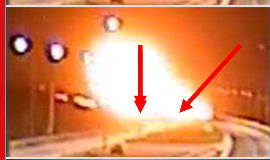
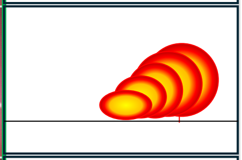
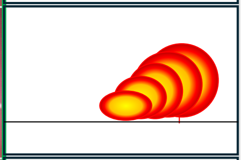
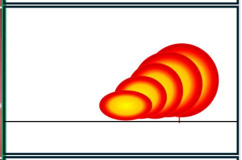
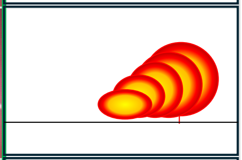
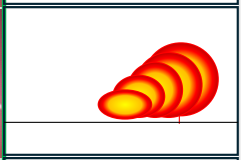
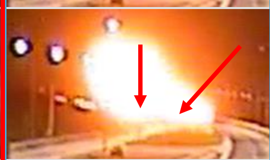
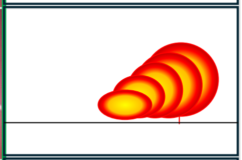
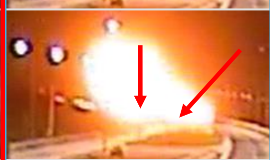
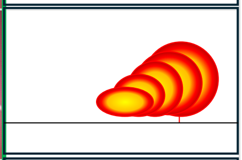
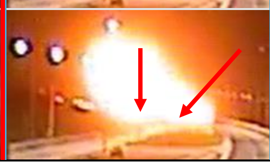
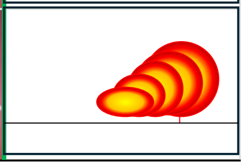
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
4,166	3,533				
4,233	3,600				
4,266	3,633				
4,300	3,667				
4,333	3,700				
4,366	3,733				
4,433	3,800				
4,466	3,833				
4,500	3,867				
4,533	3,900				

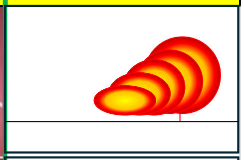
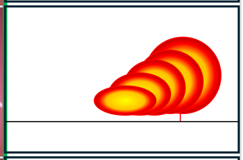
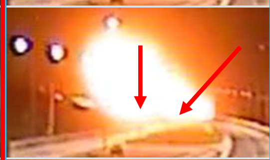
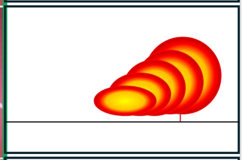
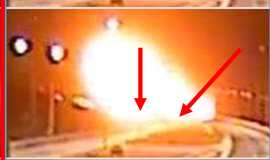
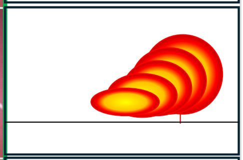
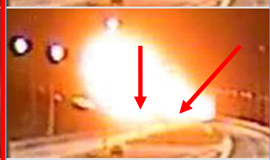
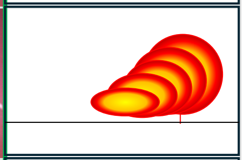
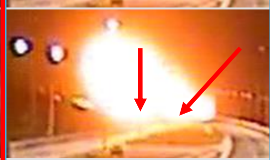
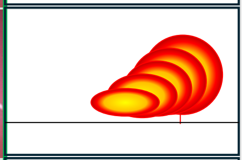
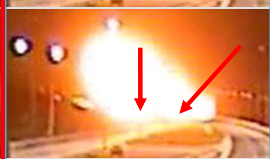
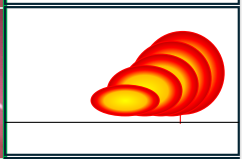
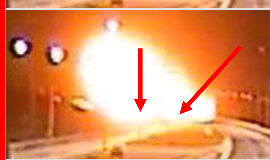
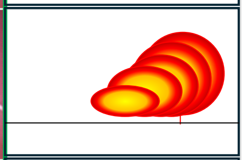
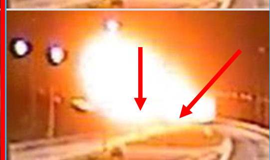
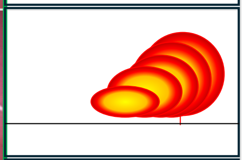
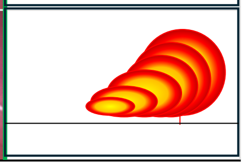
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
4,566	3,933				
4,633	4,000				
4,666	4,033				
4,700	4,067				
4,733	4,100				
4,766	4,133				
4,833	4,200				
4,866	4,233				
4,900	4,267				
4,933	4,300				

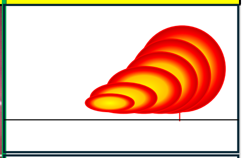
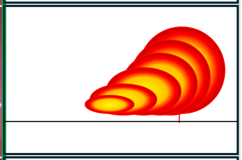
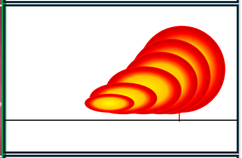
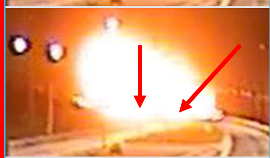
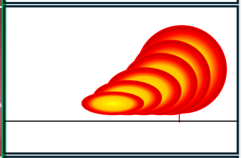
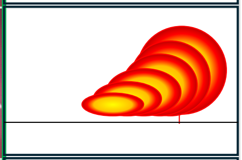
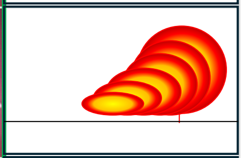
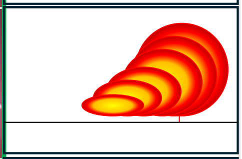
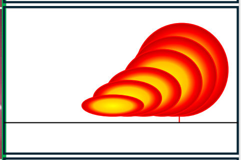
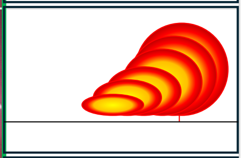
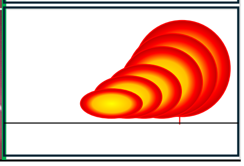
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
4,966	4,333				
5,033	4,400				
5,066	4,433				
5,100	4,467				
5,133	4,500				
5,166	4,533				
5,233	4,600				
5,266	4,633				
5,300	4,667				
5,333	4,700				

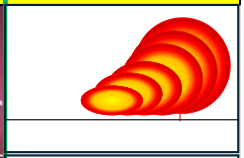
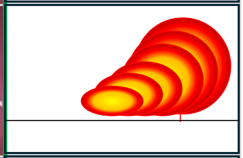
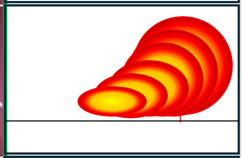
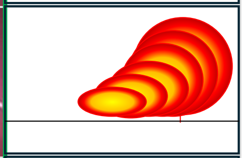
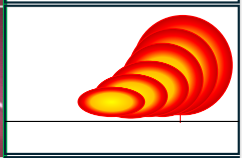
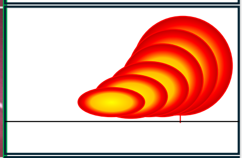
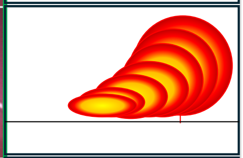
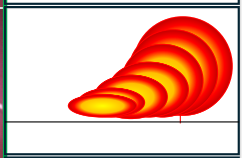
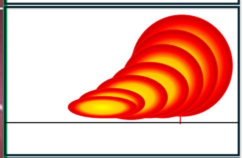
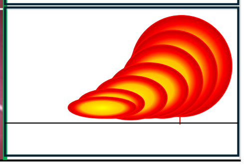
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
5,366	4,733				
5,433	4,800				
5,466	4,833				
5,500	4,867				
5,533	4,900				
5,566	4,933				
5,633	5,000				
5,666	5,033				
5,700	5,067				
5,733	5,100				

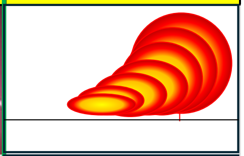
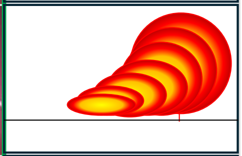
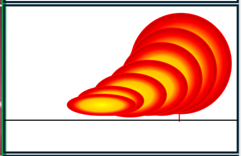
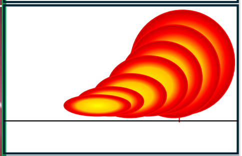
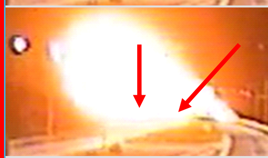
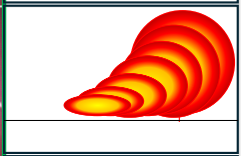
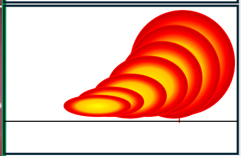
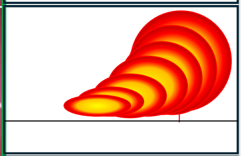
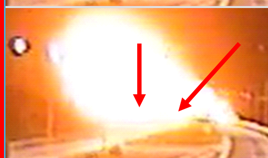
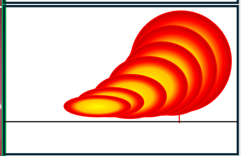
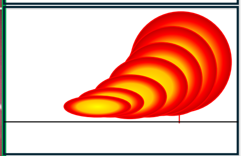
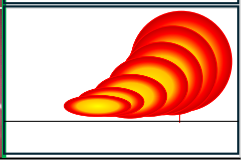
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
5,766	5,133				
5,833	5,200				
5,866	5,233				
5,900	5,267				
5,933	5,300				
5,966	5,333				
6,033	5,400				
6,066	5,433				
6,100	5,467				
6,133	5,500				

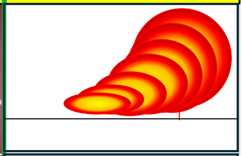
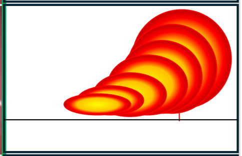
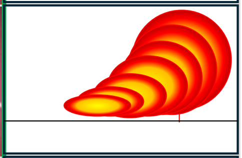
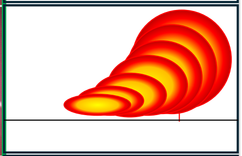
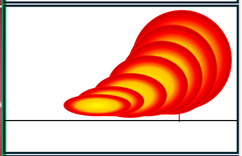
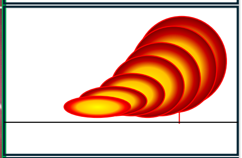
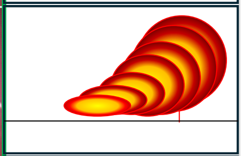
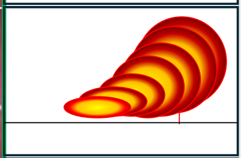
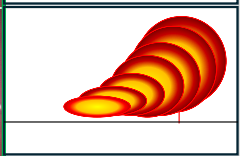
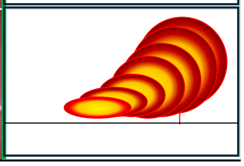
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
6,166	5,533				
6,233	5,600				
6,266	5,633				
6,300	5,667				
6,333	5,700				
6,366	5,733				
6,433	5,800				
6,466	5,833				
6,500	5,867				
6,533	5,900				

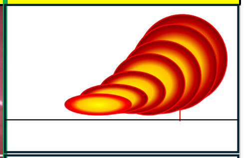
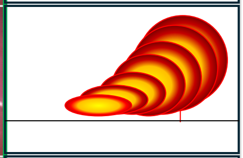
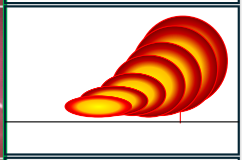
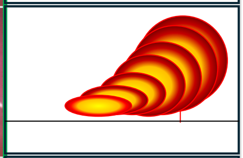
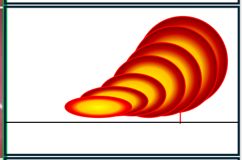
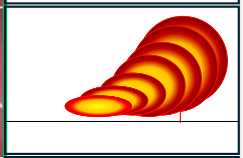
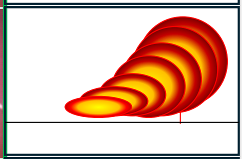
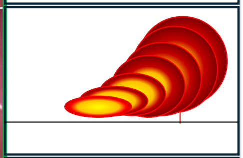
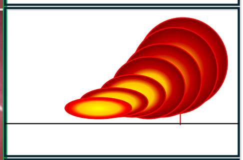
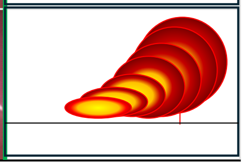
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
6,566	5,933				
6,633	6,000				
6,666	6,033				
6,700	6,067				
6,733	6,100				
6,766	6,133				
6,833	6,200				
6,866	6,233				
6,900	6,267				
6,933	6,300				

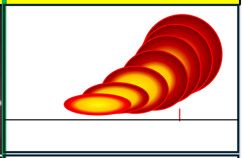
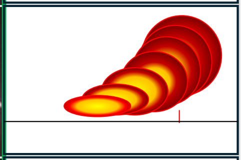
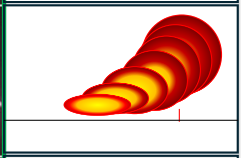
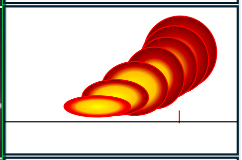
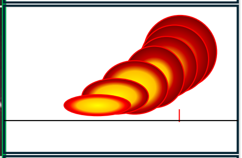
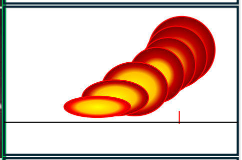
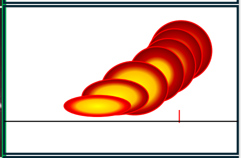
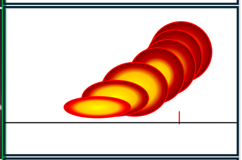
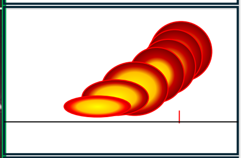
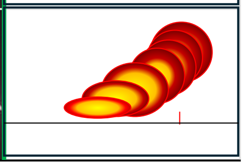
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
6,966	6,333				
7,033	6,400				
7,066	6,433				
7,100	6,467				
7,133	6,500				
7,166	6,533				
7,233	6,600				
7,266	6,633				
7,300	6,667				
7,333	6,700				

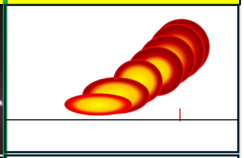
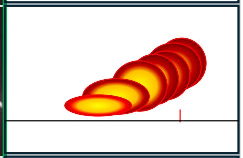
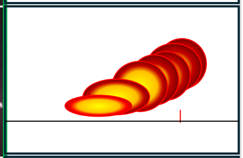
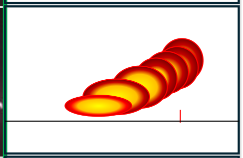
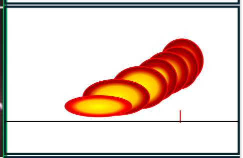
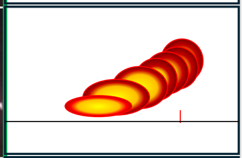
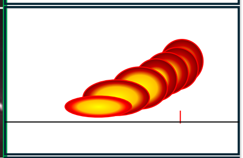
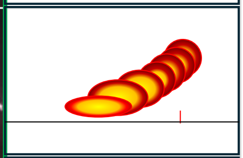
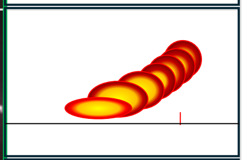
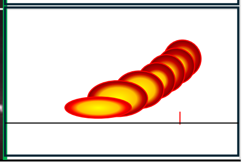
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
7,766	7,133				
7,833	7,200				
7,866	7,233				
7,900	7,267				
7,933	7,300				
7,966	7,333				
8,033	7,400				
8,066	7,433				
8,100	7,467				
8,133	7,500				

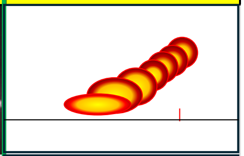
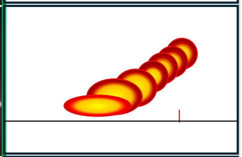
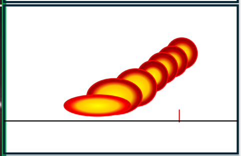
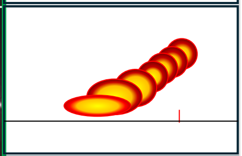
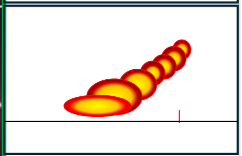
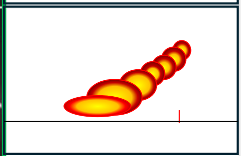
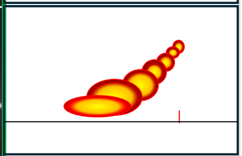
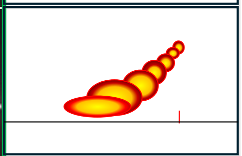
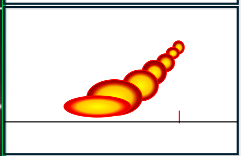
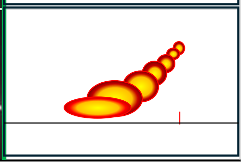
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
8,166	7,533				
8,233	7,600				
8,266	7,633				
8,300	7,667				
8,333	7,700				
8,366	7,733				
8,433	7,800				
8,466	7,833				
8,500	7,867				
8,533	7,900				

Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
8,566	7,933				
8,633	8,000				
8,666	8,033				
8,700	8,067				
8,733	8,100				
8,766	8,133				
8,833	8,200				
8,866	8,233				
8,900	8,267				
8,933	8,300				

Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
8,966	8,333				
9,033	8,400				
9,066	8,433				
9,100	8,467				
9,133	8,500				
9,166	8,533				
9,233	8,600				
9,266	8,633				
9,300	8,667				
9,333	8,700				

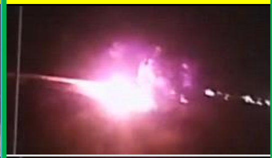
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
9,366	8,733				
9,433	8,800				
9,466	8,833				
9,500	8,867				
9,533	8,900				
9,566	8,933				
9,633	9,000				
9,666	9,033				
9,700	9,067				
9,733	9,100				

Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
9,766	9,133				
9,833	9,200				
9,866	9,233				
9,900	9,267				
9,933	9,300				
9,966	9,333				
10,033	9,400				
10,066	9,433				
10,100	9,467				
10,133	9,500				

Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
10,166	9,533				
10,233	9,600				
10,266	9,633				
10,300	9,667				
10,333	9,700				
10,366	9,733				
10,433	9,800				
10,466	9,833				
10,500	9,867				
10,533	9,900				

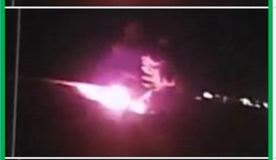
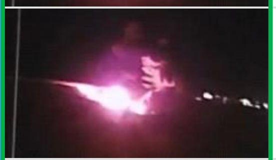
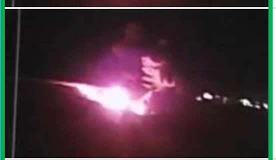
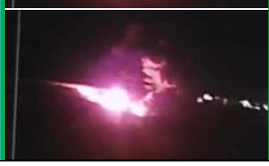
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
10,566	9,933				
10,633	10,000				
10,666	10,033				
10,700	10,067				
10,733	10,100				
10,766	10,133				
10,833	10,200				
10,866	10,233				
10,900	10,267				
10,933	10,300				

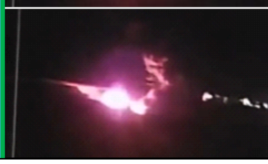
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
10,966	10,333				
11,033	10,400				
11,066	10,433				
11,100	10,467				
11,133	10,500				
11,166	10,533				
11,233	10,600				
11,266	10,633				
11,300	10,667				
11,333	10,700				

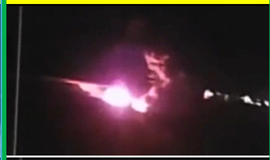
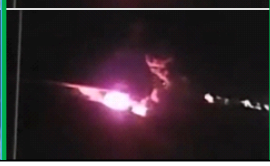
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
11,366	10,733				
11,433	10,800				
11,466	10,833				
11,500	10,867				
11,533	10,900				
11,566	10,933				
11,633	11,000				
11,666	11,033				
11,700	11,067				
11,733	11,100				

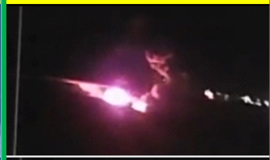
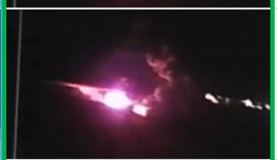
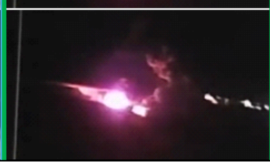
Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
11,766	11,133				
11,833	11,200				
11,866	11,233				
11,900	11,267				
11,933	11,300				
11,966	11,333				
12,033	11,400				
12,066	11,433				
12,100	11,467				
12,133	11,500				

Αχ. Μιχόπουλος ©

Συγχρονισμός Βίντεο-Αποτύπωση πλάγιας όψης fireball

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΠΑΘΕ	ΚΑΜΕΡΑ ΙΤΕΑΣ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ
12,166	**11,533**				
12,233	**11,600**				
12,266	**11,633**				
12,300	**11,667**				
12,333	**11,700**				
12,366	**11,733**				
12,433	**11,800**				
12,466	**11,833**				
12,500	**11,867**				
12,533	**11,900**				

Αχ. Μιχόπουλος ©

33. Παράρτημα Δ: Αποτύπωση Fireball σε κάτοψη

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ (GOOGLE MAPS) ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΟΣ FIREBALL (ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΣ) ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ (GOOGLE MAPS) ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΟΣ FIREBALL (ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ) ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



Αχ. Μιχόπουλος ©

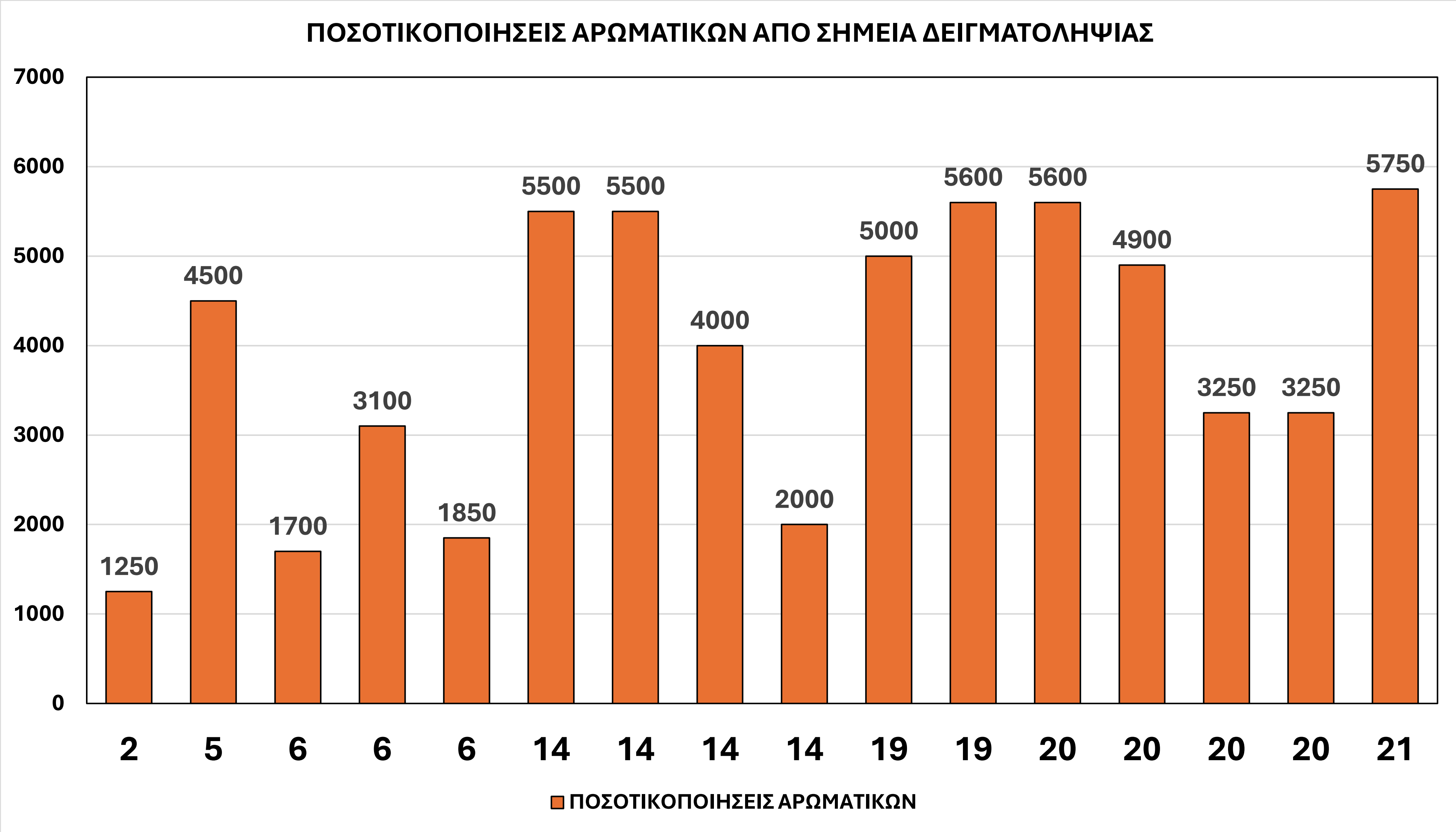
ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ (GOOGLE MAPS) ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΟΣ FIREBALL (ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ) ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



Αχ. Μιχόπουλος ©

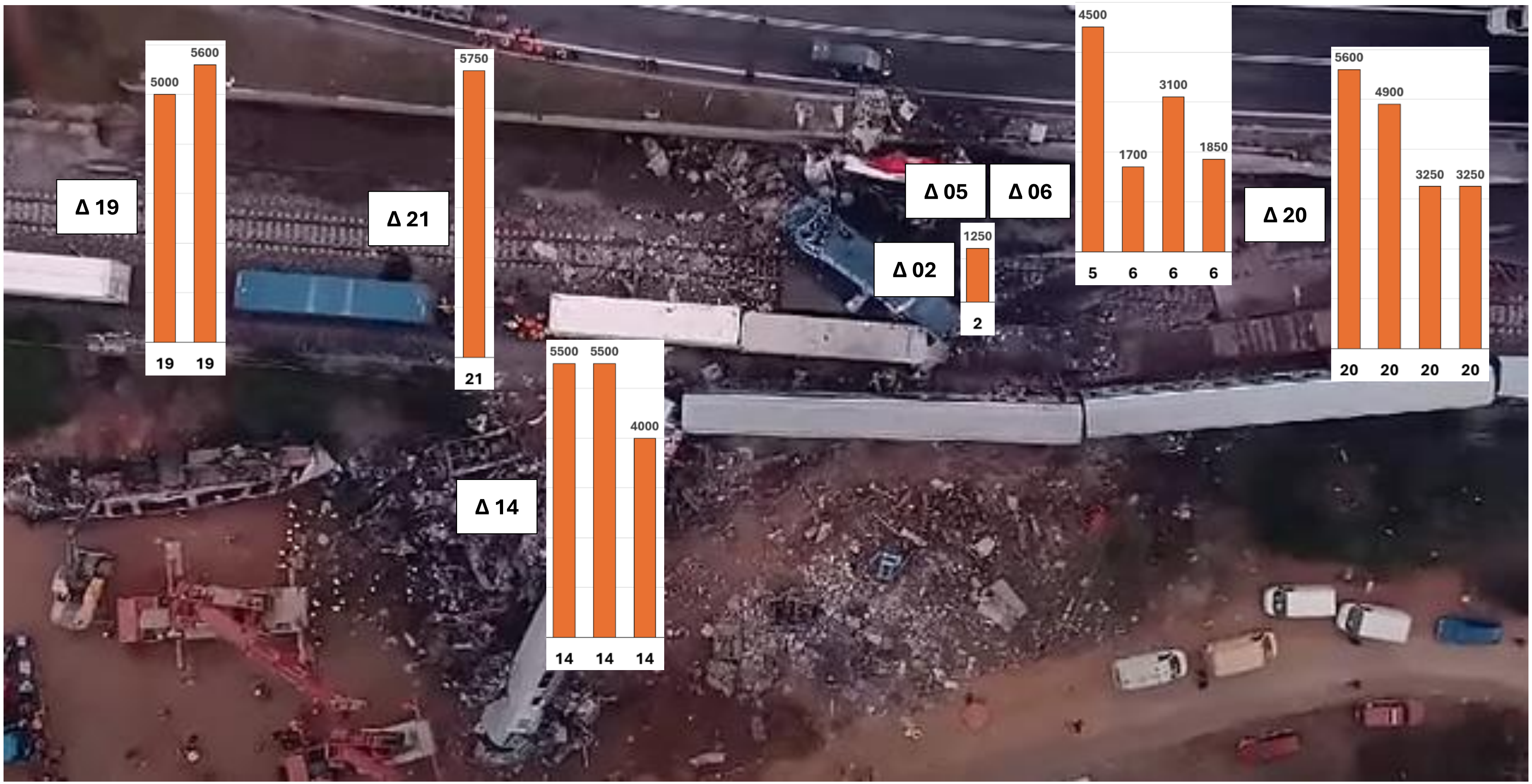
34. Παράρτημα Ε: Αποτύπωση δειγμάτων Γ.Χ.Κ. σε κάτοψη

Αφθονία (Abundance) Αρωματικών στα δείγματα



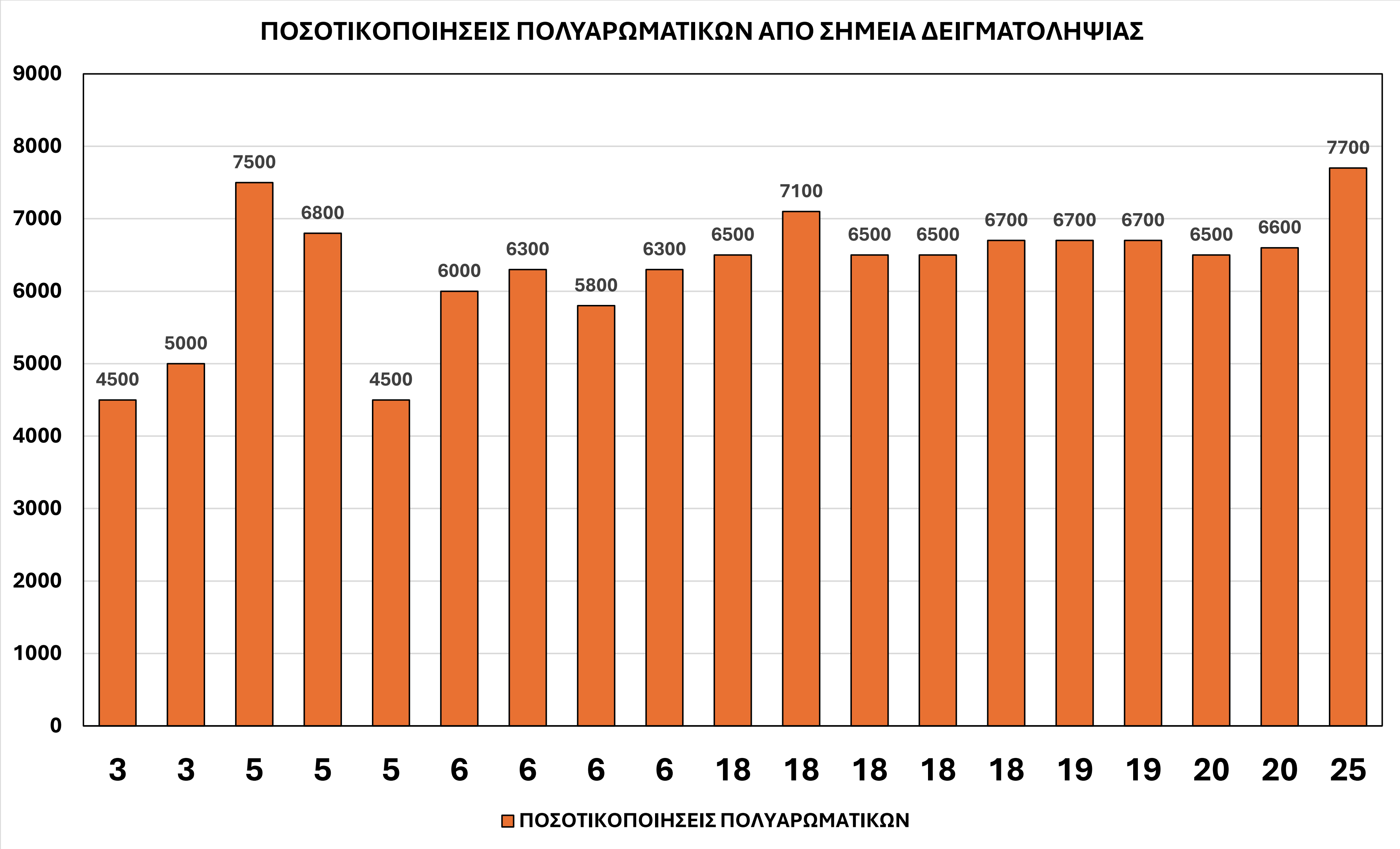
Αχ. Μιχόπουλος ©

Αφθονία (Abundance) Αρωματικών στα δείγματα και σημεία λήψης των δειγμάτων



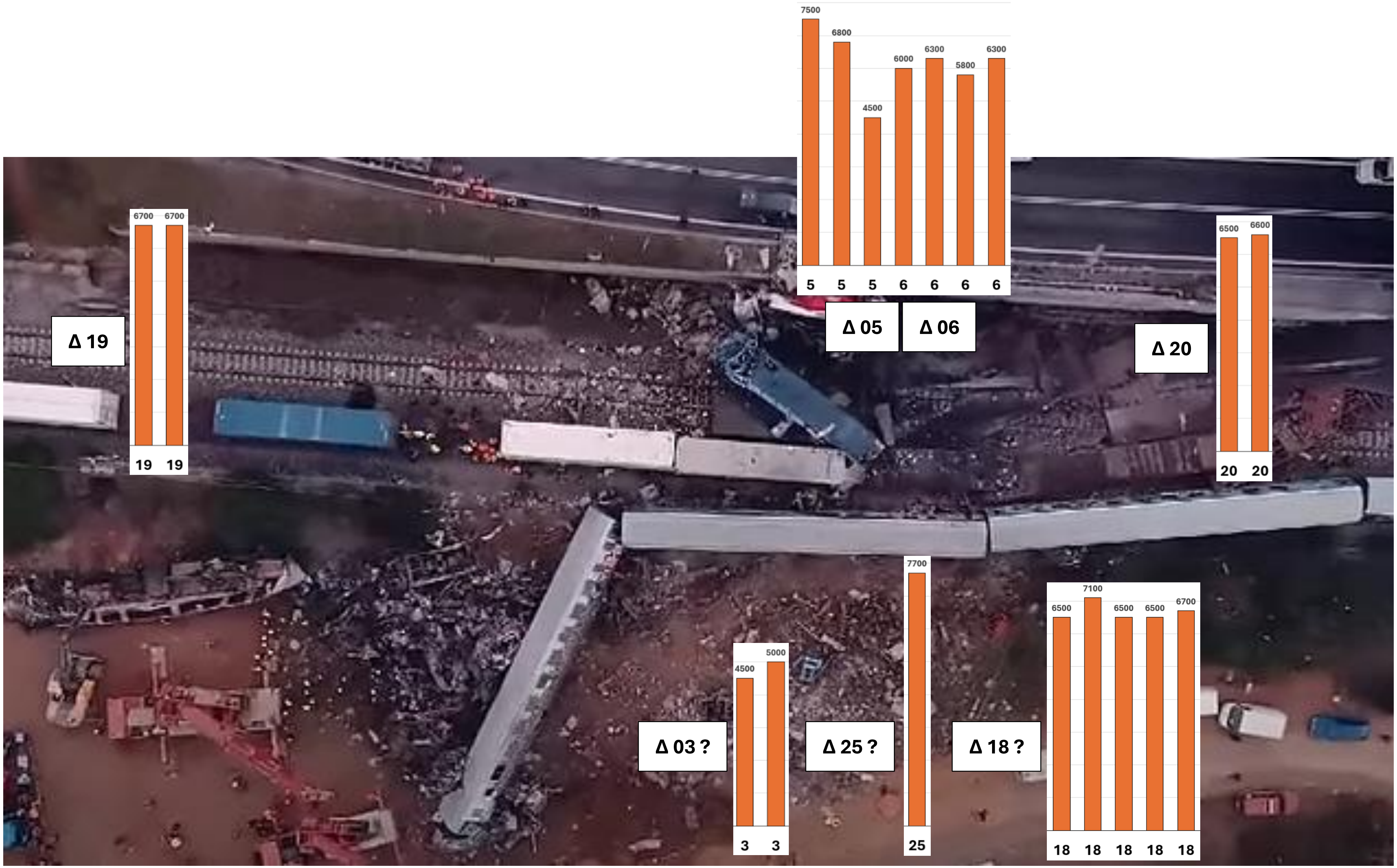
Αχ. Μιχόπουλος ©

ΑΦΘΟΝΙΑ (ABUNDANCE) ΠΟΛΥΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ



Αχ. Μιχόπουλος ©

Αφθονία (Abundance) Πολυαρωματικών στα δείγματα και σημεία λήψης των δειγμάτων



Αχ. Μιχόπουλος ©